

PŘÍRODOVĚDĚCKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE  
KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE



# **Dynamika revitalizovaného koryta Sviňovického potoka**

**(Channel dynamics of the restored Sviňovický Brook)**

*Diplomová práce*

**Jana Hujslová**

**Vedoucí práce: RNDr. Zdeněk Kliment CSc.**

**Praha 2010**

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala sama a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

Praha 12. 4. 2010

Jana Hujslová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala především RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc. za vedení mé práce, pomoc při terénních měřeních, poskytnutí literatury a dat z probíhajících měření a samozřejmě za velmi cenné rady a připomínky v průběhu celé práce. Mé poděkování patří rovněž RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za odborné vedení a trpělivost při terénních geodetických měřeních. Poděkovat bych chtěla Ing. Miroslavě Potůčkové, Ph.D. za zpracování snímků z nízkoletících modelů letadla a za cenné rady při jejich následném využití. Můj dík patří rovněž RNDr. Zbyňku Engelovi, Ph.D. za pomoc při zrnitostní analýze dnových sedimentů. Děkuji také RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za cenné rady při shromažďování potřebných materiálů, Mgr. Magdaleně Bicanové za užitečné rady při zpracování mapových podkladů, Bc. Ivu Hintnausovi za poskytnutí materiálů o využití půdy v zájmové oblasti, DiS. Tomáši Hronovi ze ZVHS Prachatice za ochotu při poskytování materiálů i prospěšných informací, Ing. Radku Pelcovi za pomoc při orientačním botanickém průzkumu zájmové oblasti. Mé díky patří celé mé rodině za poskytnutou pomoc a podporu v průběhu zpracovávání práce. Děkuji také všem ostatním, kteří byli mé práci jakkoliv nápomocni.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to monitor and to evaluate development and morphological dynamics of the Sviňovický Brook channel after the restoration in 2005. Field surveying and aerial images by low-flying model planes were used to detect recent channel dynamics after the restoration in 2005. Channel changes were compared to water level measurements. The additional method was grain size analysis of bed sediments. Orthoimage and cadastral maps were utilized to document changes in channel position over the past 160 years. Field surveying detected intensive bed and bank erosion in restored channel caused by high stream velocity from the fortified upper flow. The restored channel has markedly widened and deepened. The largest changes occurred during floods in July 2006. The intensive eroding-depositing processes remodeled the channel. The changes in channel bed level were up 30 cm and bank erosion locally exceeded 1 meter. The longitudinal profile of the channel was leveled. The road bridge began to be obstacle to the longitudinal profile development. It causes deposition upstream and erosion downstream. The largest bank disruptions in the sector up the road bridge were fortified by quarried stones at the end of 2007. The channel has not shown any significant changes since 2007. With the growing density of the channel and riparian vegetation and absence of significant rainfall events the channel becomes to be stabilized. Historical analysis detected significant changes of the Sviňovický Brook channel in the last 160 years. During the 1970s the mouth to the Zbytinský Brook has been moved about 290 m downstream.

## ABSTRAKT

Předmětem zkoumání předkládané diplomové práce bylo sledovat a vyhodnotit vývoj zrevitalizovaného úseku koryta Sviňovického potoka po provedené revitalizaci v roce 2005. Hlavní metody sledování současné dynamiky toku představovaly terénní geodetická měření a snímkování z nízkoletících modelů letadla. Identifikované změny koryta byly porovnány s měřeními vodních stavů. Doplnkovou metodou byla analýza zrnitosti dnových sedimentů. Za použití dostupných historických map a ortofot byly rovněž zjišťovány historické změny polohy koryta v uplynulých 160 letech. Terénní měření odhalila v revitalizovaném korytě intenzivní hloubkovou a břehovou erozi způsobenou zrychleným odtokem vody z opevněného horního toku. Za sledované období se koryto rozšířilo a prohloubilo. K největším změnám došlo při extrémní povodni v létě 2006. V některých místech bylo koryto zahloubeno až o 30 cm, jinde naopak zaneseno třiceticentimetrovou vrstvou sedimentů. Boční eroze rozšířila některé sledované profily až o 1 m. Klenbový propustek na silnici Zbytiny – Volary začal působit jako významná překážka v podélném profilu. Nad propustkem byla zaznamenána výrazná akumulace materiálu, pod ním je koryto naopak modelováno intenzivní erozí. Na konci roku 2007 byly největší nátrže v horní části revitalizovaného úseku zasypány lomovým kamenem, úsek pod mostem byl ponechán samovolnému vývoji. Od roku 2007 nebyla v povodí zaznamenána výraznější srážko-odtoková událost, čímž bylo umožněno intenzivní zarůstání koryta vegetací. Absence vyšších průtoků a mohutný rozvoj vegetace vedou v kombinaci se zpevněním erozních břehů lomovým kamenem k postupné stabilizaci koryta. Analýza historických dokumentů odhalila výrazné změny koryta Sviňovického potoka od poloviny 19. století. Ústí do Zbytinského potoka bylo v 70. letech minulého století přemístěno zhruba 290 m po proudu.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b>	8
<b>2 DYNAMIKA ŘÍČNÍHO KORYTA</b>	9
2.1 Korytotvorné procesy	10
2.2 Tvar říčního koryta	12
2.2.1 Příčný profil	12
2.2.2 Podélný profil	13
2.2.3 Půdorys při pohledu z výšky - říční vzorec	14
2.2.4 Klasifikace říčních koryt	16
2.3 Změny říčního koryta	18
2.3.1 Přirozené změny	18
2.3.2 Antropogenní zásahy	20
2.4 Metody výzkumu dynamiky říčních koryt	23
<b>3 CHARAKTERISTIKA POVODÍ SVIŇOVICKÉHO POTOKA</b>	29
3.1 Přírodní poměry	29
3.1.1 Geologie a geomorfologie	30
3.1.2 Hydrologie	31
3.1.3 Klima	32
3.1.4 Půdní poměry	33
3.1.5 Biogeografie	34
3.2 Sviňovický potok na historických mapách	37
3.3 Antropogenní změny Sviňovického potoka	37
3.3.1 Meliorace	38
3.3.2 Revitalizace	39
3.3.3 Současná výzkumná činnost v zájmovém území	40
<b>PŘÍLOHA 1</b>	41
<b>4 METODIKA A ZDROJE DAT</b>	42
4.1 Datové podklady pro charakteristiku povodí	42
4.2 Metody sledování dynamiky toku	42
4.2.1 Historické metody	43
4.2.2 Terénní měření a jeho zpracování	43
4.2.3 Fotogrammetrické metody	45
4.2.4 Doplnkové metody	46
4.3 Seznam zkratk použitých v diplomové práci	47
<b>PŘÍLOHA 2</b>	48
<b>5 VÝSLEDKY</b>	49
5.1 Historické změny trasy koryta	49
5.2 Současná dynamika koryta	50
5.2.1 Změny příčných profilů	50
5.2.2 Změny podélného profilu	52
5.2.3 Změny půdorysu	54
5.2.4 Variabilita zrnitosti dnových sedimentů v podélném profilu koryta	56
<b>PŘÍLOHA 3</b>	57
<b>6 DISKUZE</b>	58
6.1 Použitá metodika	58
6.2 Dynamika revitalizovaného koryta Sviňovického potoka	61
6.2.1 Historické změny polohy koryta	61
6.2.2 Dynamika revitalizovaného koryta	62

6.3 Očekávaný vývoj koryta .....	65
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>68</b>
<b>8 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>69</b>

# 1 ÚVOD

Řeky jsou dynamické systémy charakteristické časovou a prostorovou proměnlivostí svého tvaru. Jedním z nejvýznamnějších faktorů, které ovlivňují morfologii říčních koryt, se stal člověk. Napřimování a opevňování koryt, budování jezů a přehrad či odvodňování příbřežních ploch zcela změnilo přirozený charakter vodních toků a jejich okolí. Sílící snaha o nápravu poškozených říčních ekosystémů se odráží v rostoucím počtu říčních a potočních revitalizací. Pro možnost předpovědi budoucího chování říčních koryt, a tudíž i pro úspěšnost prováděných revitalizací, je nezbytné studium říčních systémů, korytotvorných procesů a celkové dynamiky říčních koryt.

Dlouhodobými změnami říčních systémů se zabývá rovněž katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK. Jednou z klíčových oblastí výzkumu je povodí horní Blanice, které bylo v minulosti významně ovlivněno antropogenní činností. Drobným tokem v pramenné oblasti Blanice je také Sviňovický potok. Leží nedaleko obce Zbytiny na Prachaticku. Ve druhé polovině 20. století byl Sviňovický potok podroben rozsáhlým melioračním úpravám, které vedly ke zpevnění a napřímení jeho koryta. V roce 2005 došlo k jeho částečné revitalizaci. Na zhruba kilometrovém dolním úseku bylo koryto rozvolněno, ale horní tok zůstal opevněn. Vzápětí po provedené revitalizaci byl na toku zahájen detailní fluvialně-morfologický a hydrologický výzkum.

Hlavním cílem předkládané diplomové práce bylo sledovat a vyhodnotit vývoj zrevitalizovaného úseku koryta Sviňovického potoka po provedené revitalizaci v roce 2005. Sledování vývoje koryta Sviňovického potoka rozvolněného při revitalizaci zahrnovalo použití metod terénního výzkumu, fotogrammetrických metod, zrnitostní analýzy a monitoringu vodních stavů. Pro posouzení míry antropogenního ovlivnění koryta byla využita série historických map. V práci byly zároveň shrnuty obecné poznatky týkající se dynamiky říčních koryt a podrobněji jsou popsány metody používané k jejímu sledování.

Práce byla řešena v rámci projektu VaV MŽP ČR – SM/2/57/05 (2005 – 2008).



## 2 DYNAMIKA ŘÍČNÍHO KORYTA

Řeky odvádějí svými koryty vodu z většiny plochy zemské souše. Jejich charakter a chování jsou výsledkem působení řady faktorů, které ovlivňují nejen hydrologický režim vodního toku, ale také množství a typ řekou unášeného materiálu (Knighton 1984).

Jak uvádí Lehotský (2006), řeky mění svou morfologii v zásadě dvěma způsoby – přirozeným vývojem nebo v reakci na zásahy člověka. Přirozený vývoj a změny morfologie koryta jsou podmíněny fundamentálními přírodními podmínkami, tzn. geologickou stavbou území, tj. horninovým složením substrátu tvořícího dno a břehy koryta, dále pak klimatem, charakterem krajinného pokryvu a samozřejmě celkovou fyziografií povodí. Zatímco geologická stavba území určuje odolnost horninového podloží vůči erozní síle toku, klima ovlivňuje srážkovou dotaci řeky a ve své podstatě i typ krajinného pokryvu v povodí. Fyziografie povodí je klíčová pro rychlost povrchového odtoku vody i materiálu z plochy povodí.

Člověk je podstatným činitelem již více než 6 000 let, od dob, kdy neolitické kmeny žijící v jihovýchodní Evropě procházely říční údolí, aby se dostaly do střední Evropy a okraje údolí současně osidlovaly (Jensen a kol. 2006). Lidské zásahy do toku nebo jeho okolí jsou členěny na přímé a nepřímé (Knighton 1984; Lehotský 2006). Přímé zásahy bezprostředně ovlivňují charakter koryta. Nejčastěji se jedná o jeho přímé úpravy s cílem zmenšit efekt záplav, eroze nebo akumulace (např. stavba přehradních nádrží, napřimování koryt, zpevňování břehů, vysoušení niv, odstranění břehové vegetace, těžba sedimentů z říčního koryta). Sedlák (1985) dokumentuje stavbu hrází již ve starém Egyptě. Nepřímé změny jsou způsobeny činnostmi prováděnými mimo vodní tok, které ovšem mají vliv na odtok z území a množství splavenin, které se do koryta dostane, a tak ve svém důsledku na říční systém opět působí. Nejčastěji se jedná o změny struktury krajinného pokryvu a hospodářského využití území (odlesnění, zalesnění, urbanizace, výstavba infrastruktury), změny lesnických a zemědělských postupů v povodí, vysušování nebo zavlažování půdy (zemědělské meliorace, kanalizační a zavlažovací systémy) či těžební činnost. Rozsáhlé úpravy krajinného pokryvu vedly například v řece Tarcutta Creek v Novém Jižním Walesu k zahloubení koryta až o několik metrů pod původní úroveň dna a k celkovým změnám v morfologii koryta (Douglas 2000). V případě řeky Pine Creek (Idaho, USA) vyústila rozsáhlá těžba nerostů, těžba dřeva a výstavba nové infrastruktury naopak ve výrazné rozšíření a zanášení koryta, jehož snížená kapacita se stala významnou potenciální hrozbou pro okolní sídla (Kondolf a kol. 2002).

## 2.1 Korytotvorné procesy

Tekoucí voda působí jako modelační činitel krajiny, který za spoluúčasti unášeného materiálu eroduje, erodovaný materiál transportuje a v místech poklesu kinetické energie akumuluje (Horník a kol. 1986). Intenzita a rozložení eroze, transportu a sedimentace, které představují tři základní funkce říčních systémů, jsou značně variabilní. Při jejich působení sehrává roli celá řada faktorů, dochází k jejich proměnám v prostorovém i časovém měřítku. Souhra těchto klíčových funkcí rozhoduje o výsledném tvaru říčního koryta.

### Eroze

Eroze je proces působení tekoucí vody a proudem unášeného materiálu, kterým dochází k rozšiřování a prohlubování říčních koryt (Demek 1988). Velikost eroze závisí na jedné straně na erozní schopnosti řeky, hydraulických vlastnostech a množství transportovaných splavenin, na druhé straně na odolnosti dna a břehů koryta. Erozní schopnost je určena množstvím protékající vody (tzn. průtokem) a její rychlostí, která závisí na spádu, viskozitě vody, šířce, hloubce a tvaru koryta v příčném profilu a drsnosti koryta (Demek a kol. 1976). Míra odolnosti koryta vychází z jeho horninového složení. Sypké a málo odolné materiály (např. písky, pískovce) jsou snáze erodovatelné a koryto se do nich bude zahlubovat rychleji než do materiálů zpevněných a tvrdých (např. amfibolity, žuly, kvacity). V případě kompaktních hornin sehrává významnou roli systém puklin popř. směr sedimentárních komplexů v podloží koryta (Horník a kol. 1986). Zpevnění břehů tvořených přirozeně málo odolnými materiály může napomoci svým kořenovým systémem břehová vegetace. Břehové sedimenty s podílem kořenů 16-18 % a pětcentimetrovým porostem poskytují dvacetisíckrát větší ochranu před erozí než srovnatelné substráty bez vegetace (Knighton 1984). Modelační funkce transportovaných splavenin se liší v závislosti na jejich velikosti, charakteru unášeného materiálu a frekvenci jeho přesouvání (Horník a kol. 1986). Eroze je tím větší, čím častěji tok unáší ostrohranný a odolný materiál. Pro erozní činnost má největší význam hrubozrnný materiál dopravovaný po dně koryta, proto je také její intenzita všeobecně vyšší v mimotropických oblastech, kde svahový systém dodává do toků hrubší úlomky hornin.

Na základě převládajícího směru působení rozlišujeme erozi hloubkovou a boční. Materiál, který je tokem vlečen po dně, se sám opracovává a současně obrušuje a narušuje dno. V důsledku vlivu velkého množství faktorů se intenzita a charakter eroze místně velice liší, ale zpravidla převažuje hloubková eroze na horních tocích (Stejskal 1949). Při boční erozi tekoucí voda naráží na břeh, který v dolní části rozrušuje a podemílá, což ústí v sesuvy

břehového materiálu a ústup břehů do stran. Ústup v aluviálních korytech je logicky rychlejší než v korytech skalních a řádově může ročně dosáhnout až desítek metrů (Horník a kol. 1986). Převažuje na středních a dolních tocích (Stejskal 1949), které mají jejím působením obvykle zvlněný průběh, tvoří zákruty nebo meandry.

### **Transport**

Každoročně přepraví řeky z povrchu zemské souše do oceánů v průměru více než 10 miliard tun materiálu (Knighton 1984). Přenáší nejen materiál, který byl uvolněn boční a hloubkovou erozí ze dna a břehů koryta, ale také materiál, který se do toku dostal svahovými procesy nebo povrchovými splachy z okolních ploch. Přepravovaný materiál tvoří rozpuštěné látky, plaveniny a dnové splaveniny. Rozpuštěné látky nejsou ve vodě pouhým okem patrné a jsou transportovány v roztoku. Horník a kol. (1986) uvádějí, že se ročně dostane do světového oceánu odhadem téměř 2,5 miliard tun rozpuštěných látek. Plaveniny jsou jemné částice lehce přepravované v suspenzi, které tvoří většinu řekami transportovaného materiálu (Knighton 1984). K výraznému nárůstu transportovaných plavenin dochází zejména při přívalových deštích a v obdobích prudkého tání sněhu (Horník a kol. 1986). Dnovými splaveninami nazýváme větší částice, které bývají přemísťovány posunováním, valením nebo saltací. Právě transport splavenin má klíčový význam pro utváření koryta. Největší množství materiálu určité velikosti, které řeka může dopravovat, udává unášecí kapacitu toku (Demek 1988). Množství a velikost mechanicky unášených částic jsou velice proměnlivé, neboť závisí na nosné síle proudu resp. na množství vody a její rychlosti (Stejskal 1949). Obecně lze však říci, že s rostoucím množstvím vody a větší rychlostí, množství unášených částic stoupá. Transport materiálu neprobíhá plynule, neboť voda proudí v korytech turbulentně. Zatímco toky se šterkovým dnem charakterizuje přerušovaný pohyb nesených částic, u řek s písčítým dnem mají částice tendenci pohybovat se ve shlucích po směru proudu (Knighton 1984).

### **Sedimentace**

Pokud se nosná síla proudu sníží natolik, že už není schopen dále částice transportovat, dochází k jejich sedimentaci. Unášený pevný materiál se ukládá podle velikosti, měnící se nosné síly proudu, tvaru řečiště, překážek v korytě atd., takže je ve výsledku říční sedimentace velmi nepravidelná a přerušovaná a říční uloženiny mají křížové čili diagonální zvrstvení (Stejskal 1949). Jako první se zpravidla usazují největší a nejtěžší částice, drobnější pokračují do vzdálenějších částí toku. Materiál horských toků proto bývá špatně vytříděn a zrna jsou jen slabě zaoblena, oproti tomu v dobře vytříděném materiálu nížinných řek převládá písčítá frakce a zaoblená zrna (Horník a kol. 1986). Surian (2002) však při studiu variability mocnosti sedimentů v řece Piavě objevil významné nepravidelnosti proti uvedené

posloupnosti ukládání. Na sledovaném úseku identifikoval specifická místa, kde dochází ke skokovému nárůstu velikosti a mocnosti sedimentů odporujících zažitému předpokladu pravidelnosti v jejich rozložení (např. pod jezy, pod ústími přítoků, u skalních výchozů a terasovitých stupňů). Materiál usazovaný v říčním korytě a bezprostředním okolí vykazuje rovněž znaky diferenciaci podle odolnosti. Stejskal (1949) uvádí, že zatímco v menších vzdálenostech nacházíme i valouny měkkých hornin (břidlice), ve větších vzdálenostech převládají již jen valouny nejpevnějších hornin, a proto také říční štěrky složené z úlomků různě odolných hornin svědčí vždy o kratším přenosu. Tradičními akumulacími dnovými tvary jsou rozsáhlé bary čili ostrůvky sedimentů uvnitř koryta tvořené velikostně rozličnými sedimenty, mnohem menšími, skrytými tvary jsou čeřiny, duny a antiduny typické pro písčité koryta (Knighton 1984). Sedimentace typicky dominuje u jesepních břehů, v úsecích mírnějšího spádu pod úseky většího spádu, před překážkami v korytě, na dolních tocích a zpravidla u ústí (Stejskal 1949), kde může docházet k tvorbě delty.

## **2.2 Tvar říčního koryta**

Tvar koryta představuje klíčový nástroj k rozpoznání a hodnocení změn probíhajících ve vodních tocích a obvykle je také důležitým ukazatelem v klasifikačních systémech říčních koryt. Jak zdůrazňují Simon a Castro (2003), použití tvaru koryta při analýze fluvialních procesů v krajině musí být založeno buď na detailním měření parametrů, které slouží při kvantifikaci těchto procesů, nebo na pozorování diagnostických znaků, které o probíhajících procesech poskytnou informace. Charakteristiky tvaru koryta mohou být kombinovány s dalšími rysy říčních systémů, tzn. substrátovým složením koryta, říční vegetací, množstvím a velikostí transportovaných splavenin, průtoky atd. (Netopil a kol. 1984; Graf 2001; Simon a Castro 2003). Kombinace většího množství sledovaných a měřených veličin pomáhá odhalit převládající trendy v probíhajících procesech s větší jistotou.

Tvar koryta je uvažován ve třech směrech – na příčném průřezu, podélném průřezu a půdorysu tzn. tvaru koryta při pohledu z výšky.

### **2.2.1 Příčný profil**

Tvar příčného profilu je jedním z nejčastěji používaných parametrů koryta. U přirozených vodních toků je typicky nepravidelný a Knighton (1984) ho označuje za jednu z nejvíce přizpůsobivých složek říční geometrie. Na aktuální podmínky, množství protékající vody a unášených splavenin reaguje vodní tok změnou tvaru příčného profilu prostřednictvím

erozních a akumulčních procesů. V každém místě toku je tvar příčného profilu zpravidla unikátní. Avšak, jak uvádějí Leopold a kol. (1992), i zde je možné nalézt určitou pravidelnost. Zatímco v přímých úsecích mají řeky tendenci tvořit lichoběžníkový profil, ve zvlněných a meandrujících úsecích vzniká vlivem střídání erozních a akumulčních forem u protějších břehů profil silně asymetrický. Na dolním toku, jak řeka mohutní, získává koryto na průřezu až obdélníkový tvar, neboť šířka narůstá po toku rychleji než hloubka.

### **Plnoprůtočný profil**

Příčný profil je při studiu morfologie koryta zpravidla uvažován ve smyslu plnoprůtočného (bankfull) profilu. Plnoprůtočný profil odpovídá takovému stavu, kdy voda stále zůstává v korytě, ale při překročení jeho horní hranice již dochází k rozlivu do přilehlé nivy. Průtok naplňující tento profil (bankfull discharge) se vyskytuje v průměru jednou za 1 až 2 roky (Wolman a Leopold 1957). Jak ale uznávají Harrelson a kol. (1994), pozorovatel se jen málokdy stane svědkem takového průtoku, a proto musí horní hranici profilu odhadnout. Přesné vymezení, resp. detekce vrcholových bodů břehů koryta, je v mnohých případech komplikované a metodiky pro jeho určení nejsou zcela jednotné. Přesto Harrelson a kol. (1994) vyjmenovávají celou řadu indikátorů, které mohou pomoci hranici plnoprůtočného profilu definovat. Nejspolehlivějším z nich je změna sklonu břehů, kdy v ideálním případě přechází sklon téměř vertikální do horizontálního, a dokumentuje tak okraj začínající nivy. Western a kol. (1997) vymezili plnoprůtočný profil buď výrazně vysoko položeným bodem na břehu, nebo právě bodem, kde dochází k výraznému zmenšení sklonu břehu. Takové význačné body se na protějších březích, vlivem přirozené nepravidelnosti koryt, zpravidla nenacházejí v rovině, proto byl za rozhodující zvolen níže položený z nich. Změnu sklonu svahu společně s patrnou změnou hustoty vegetace použili také VanLooy a Martin (2005). Další metody vymezení plnoprůtočného profilu uvádějí Williams (1978) či Osterkamp a Hedman (1982).

### **2.2.2 Podélný profil**

Podélný profil koryta vyjadřuje vertikální polohu říčního dna, okrajů břehů či vodní hladiny od pramene k ústí a bývá znázorňován grafem závislosti nadmořské výšky dna resp. hladiny na vzdálenosti od ústí. S rostoucí vzdáleností od pramene vodní toky přirozeně nabývají na velikosti, jak přibývající přítoky a stále větší plocha odvodňované oblasti zvětšují průtok. Současně zpravidla dochází k prohlubování koryta a zplošťování sklonu dna (Leopold a kol. 1992). Snižování sklonu po směru toku vede k vytvoření konkávního tvaru podélného profilu (Leopold a kol. 1992; Western a kol. 1997). Leopold a kol. (1992) však uvádějí řadu

výjimek, kdy podélný profil nabývá přímého či dokonce konvexního tvaru. Příčinou je specifická litologie daného území.

Při detailnějším pohledu na podélný profil je zřejmé, že dna většiny přirozených koryt nezůstávají plochá, ale tvoří se na nich mělčiny (riffles) a prohlubně (pools), které se relativně pravidelně střídají ve vzdálenosti pěti- až sedminásobku šířky koryta (Thornes 1979; Leopold a kol. 1992). Podmínkou pro vytvoření sekvence riffle-pool je podle Leopolda a kol. (1992) heterogenní dnový materiál, proto se jen výjimečně tvoří v korytech s písčítým nebo jílovitým dnem. S uvedeným střídáním hloubek je spojena také pravidelnost v uspořádání dnových sedimentů. Zatímco na mělčinách převládá hrubozrnnější materiál, tůň ho zpravidla postrádají (Leopold a kol. 1992; Thorne 1997). Výjimku tvoří koryta s častým výskytem skalního podloží, kde někdy naopak dochází k soustředění hrubšího materiálu v nejhlubších místech tůní (Leopold a kol. 1992). Mělčiny tvořené šterkovými akumulacemi vystupují za nižších vodních stavů nad hladinu a rozvlňují tím i v přímých úsecích proudnici ke břehům. Sekvence riffle-pool jsou typické pro přímá koryta a jen zřídka se vyskytují u divočících toků (Leopold a kol. 1992). U horských toků, se jako obdoba sekvence riffle-pool tvoří systémy stupňů a tůní (step-pool) (Gilvear a Bravard 1996). Systémy step-pool jsou časté také v zalesněných povodích, kde koryta obsahují velký organický materiál (zejména popadané kmeny stromů), který v toku vytváří stupně, za nimiž vznikají tůně.

### **2.2.3 Půdorys při pohledu z výšky - říční vzorec**

Konfiguraci říčního koryta, jak se jeví při pohledu z výšky, popisuje tzv. říční vzorec (channel pattern) (Leopold a kol. 1992). Koryta vodních toků se podle říčního vzorce dělí nejčastěji na přímá, meandrující a divočící. V 70. letech se mezi geomorfology rozšířil termín tzv. anastomózních toků, které byly popsány jako toky se dvěma nebo více rovnocennými koryty s vysokou mírou křivolakosti, které jsou odděleny stabilizovanými vegetací porostlými ostrovy, jejichž výška odpovídá úrovni okolní nivy, a proto nedochází k jejich zatopování při plnoprávném průtoku (bankfull discharge), jako je tomu u barů divočících toků (Thorne 1997). Bartholdy a Billi (2002) zkoumali v Toskánsku tzv. pseudomeandrující koryta. Graf (2001) uvádí ještě tzv. složená koryta, která jsou hybridním typem s jedním meandrujícím korytem pro nízké průtoky a širokým korytem pro období velkých průtoků, kdy řeka divočí. Tato koryta jsou typická pod přehradními nádržemi, které se příležitostně výrazněji upouští. Jak zdůrazňují Leopold a kol. (1992), neexistuje žádné ostré rozhraní mezi jednotlivými typy, neboť jeden v druhý přirozeně přecházejí. Říční vzorce jsou těsně spjaté se sklonem koryta, tvarem příčného profilu, množstvím a charakterem dodávaného a transportovaného materiálu

a režimem průtoků. Knighton (1984) zjistil, že zatímco pro přímá koryta je charakteristický velký spád a relativně malé průtoky, meandrující koryta se vyskytují sice u toků s poměrně malými průtoky, ale s malým spádem a konečně divočíci řeky mají typicky velký spád a především vysoké průtoky.

Jako kritérium pro zařazení do jednoho z uvedených tří základních typů se používá míra křivolakosti. Míru křivolakosti toku vyjadřuje poměr mezi délkou vodního toku a délkou údolnice (Rosgen 1996). Nabývá hodnot od 1 pro absolutně přímý tok, což je tedy spíše teoretický případ, po hodnoty přes 2,0 pro vysoce klikatá meandrující koryta (Netopil a kol. 1984).

### **Přímé toky**

Přímá koryta jsou v přírodě relativně vzácná a většinou vázaná na specifické přírodní podmínky. Podle Leopolda a kol. (1992) přímý směr jen výjimečně přesahuje desetinásobek šířky koryta, proto v sobě označení přímá koryta zahrnuje rovněž koryta nepravidelná a klikatá s mírou křivolakosti do 1,5.

Přímá koryta se vyznačují vyvinutým systémem riffle-pool. Knighton (1984) považuje toto více méně pravidelné rozložení po sobě jdoucích tůní a mělčin za nejvýraznější rys geometrie přímých koryt. Množství studií dokazuje, že i v přímých korytech (úsecích) má však linie maximální hloubky (thalweg) zvlněný průběh a pohybuje se od jednoho břehu ke druhému (Leopold a kol. 1992). U břehů se proto poměrně pravidelně střídají místa zahloubená (tam, kde se proudnice k břehu přiblíží) a jemnozrné akumulace. Výzkumy zabývající se zákonitostmi proudění v přímých korytech také napovídají, že zde pravděpodobně existují určité vedlejší proudy směřující od břehů do středu koryta, a na centrální linii koryta tak často vznikají pásy akumulovaného materiálu (Leopold a kol. 1992).

### **Divočíci toky**

Divočíci toky charakterizuje jedno koryto s rozvětvenou proudnicí, jejíž jednotlivé větve jsou oddělené sedimentárními lavicemi, ostrůvky a bary, které jsou za vyšších vodních stavů obvykle ponořené. Základní podmínkou pro divočení toku je podle Leopolda a kol. (1992) transport sedimentů a malá odolnost břehů vůči erozi. Pevné odolné materiály proto, na rozdíl od písčitých a homogenních koryt, nedovolí toku „divočet“. Při laboratorní simulaci, kterou podrobně popisují Leopold a kol. (1992), byl do vody proudící v homogenním písčitém korytě přidán hrubozrnější nevytříděný materiál a již po několika hodinách se vytvořily formy odpovídající divočení. Studium proglaciálních toků a provedenou simulací byla prokázána závislost divočení na dostatečné dotaci hrubozrnějšího materiálu do koryta, aby mohla vzniknout centrální akumulace rozdělující proudnici.

### Meandrující toky

Téměř všechny přirozené toky vykazují snahu vytvářet zákruty. Podle Thornese (1979) je tendence meandrovat přirozenou vlastností proudění, a to nezávisle na tom, kde probíhá. Materiál, který vodní toky transportují, podle něj pouze zviditelňuje proces meandrování. Oproti tomu Parker (1976) meandrování aluviálních koryt přítomností transportovaného materiálu podmiňuje. Toky, jejichž míra křivolakosti se rovná nebo přesahuje 1,5, nazýváme meandrující. Intenzivně meandrující řeky mohou mít míru křivolakosti až přes 4 (Leopold a kol. 1992). Meandrující koryta se kromě zvlněného půdorysu vyznačují pravidelným střídáním nárazových a nánosových břehů.

Za důkaz začínající tendence meandrovat považuje Knighton (1984) absenci dlouhých rovných úseků a existenci křivolakého proudu v rovných úsecích. Zákruty vznikají vychýlením proudnice, k němuž může podle Horníka a kol. (1986) dojít vlivem bočního přítoku, náplavového kuželu u jednoho z břehů, sesuvem do koryta či složitou litologií, která předurčí odchýlení proudu do méně odolných hornin. Leopold a kol. (1992) však dokumentují tendenci vychylování a vlnění proudnice i v přímých korytech bez zjevných překážek. Zatímco nárazové vyduté břehy (výsepní), ke kterým se proudnice vychýlila, intenzivně erodují a ustupují, u protějších vypuklých břehů (jesepních) vznikají akumulace unášeného materiálu. Jestliže dojde k rozkmitání proudnice, vznikají nárazové a nánosové břehy střídavě a tok začíná meandrovat. Jak ale zdůrazňují Leopold a kol. (1992), eroze ani akumulace není nejintenzivnější přímo v ose zákrutu, ale v místech těsně za touto osou po směru toku. Trasa koryta proto neodpovídá přesně sinusoidě, ale jednotlivé zákruty se mírně vychylují po směru toku. Pokud se říční zákrut prohloubí natolik, že vnitřní úhel jeho oblouku je větší než  $180^\circ$ , nazývá se meandr (Demek 1988). V rovinatých krajích s nepatrným spádem se ramena sousedních meandrů mohou přiblížit natolik, že dojde k protržení meandru (Stejskal 1949). Řeka pak v tomto úseku teče opět přímo, vstup do starého meandru se zanáší a vzniká mrtvé (odškrcené) rameno. Meandrové kličky postupují bočně i po směru toku a vytváří v údolní nivě meandrový pás (Stejskal 1949; Demek 1988).

#### **2.2.4 Klasifikace říčních koryt**

V rámci snah o porozumění procesům a zákonitostem, které rozhodují o konkrétním vzhledu vodního toku resp. jeho koryta a udávají směr jeho dalšího vývoje, byla vytvořena celá řada klasifikací říčních koryt. Jak ale uvádějí Kondolf a kol. (2003a), vysoká variabilita říčních systémů představuje významný problém pro uplatnění obecně platných charakteristik, a tudíž i překážku pro sestavení jednotné bez výjimky použitelné typologie. Nejčastějšími



kritérii pro vymezení jednotlivých kategorií bývají podle Kaszowskiho a Krzemienie (1999) říční vzorec, stabilita koryta, dnový materiál a procesy dominující uvnitř koryta. Různí autoři ve snaze o určitou systematizaci sjednocují klasifikace podle společných rysů a dělí je do skupin podle jejich účelu (Kondolf a kol. 2003a) nebo podle jejich metodiky (Kaszowski a Krzemień 1999).

Pravděpodobně nejstarší klasifikace se objevila již v polovině 19. století (Dana 1850), která od sebe odlišila horské bystřiny a nížinné řeky. O celé století později vznikly dnes často používané kategorie toků přímých, meandrujících a divočících (Russell 1954). Leopold a Wolman (1957) použili stejné názvy kategorií, které vymezili na základě vzájemného vztahu kvantitativních charakteristik sklonů a průtoků. V následujících letech byla jejich klasifikace různými autory upravována a přibyl také čtvrtý základní typ, řeky anastomózní (Lane 1957).

Jednou z nejčastěji používaných je klasifikace Schumma (1977), který rozlišil aluviální koryta na základě toho, zda je jejich dno stabilní, eroduje nebo se zanáší a uvedené charakteristiky dal do vztahu s převažujícím typem transportovaného materiálu (plaveniny v suspenzi, dnové splaveniny nebo směs uvedených). Klasifikace zahrnuje rovněž vztah stability koryta, říčního vzorce a parametru tvaru koryta vyjádřeného poměrem šířky a hloubky koryta. Nejvyšší míru stability přisuzuje Schumm (1977) přímým korytům s převažujícím transportem plavenin, a naopak nejméně stabilní jsou podle něj divočící toky transportující převážně dnové splaveniny.

Americký hydrolog David Rosgen (1994) vytvořil poměrně složitou ovšem velice detailní klasifikaci vodních toků založenou na velkém množství parametrů. Jeho cílem bylo sestavit takový systém, který by rozčlenil toky na základě jejich morfologických charakteristik do specifických kategorií, kterým by bylo možné přiřadit určitý vzorec chování a předpovídat tak budoucí vývoj těchto koryt i jejich reakci v případě povodňových událostí. S ohledem na sklonové poměry, charakteristiky příčného profilu koryta a půdorysný profil koryta v údolní nivě resp. křivolakost vymezil sedm základních typů přirozených toků (A, B, C, D, DA, E, F, G). Základním hodnotícím parametrem bylo rovněž substrátové složení koryta, podle něhož přiřadil hlavním typům číselnou kategorii 1 (skalní podloží) až 6 (hlinité až jílovité koryto). Rosgenova klasifikace umožňuje teoretický odhad přirozeného vývoje systému i náchylnosti daného úseku vůči změně, proto je velice často využívána v revitalizační praxi.

## 2.3 Změny říčního koryta

Řeky jsou dynamické prvky krajiny, které mění svou morfologii v prostoru i čase. V případě narušení toku potlačují vzniklé odchylky od původního stavu přizpůsobením podélného profilu a drsnosti svého koryta (Knighton 1984; Demek 1988). Schopnost regenerace závisí na velikosti a odolnosti systému, a proto se dynamika změn přirozených toků liší nejen mezi řekami, ale také v různých úsecích jednoho konkrétního toku (Knighton 1984; Gilvear 1999).

### 2.3.1 Přirozené změny

Počáteční vývoj tvaru koryta předurčuje materiálové složení jeho dna a břehů. Leopold a kol. (1992) popisují efekt simulovaného zvýšení průtoků v korytě tvořeném nezpevněným písčitém materiálem s téměř pravidelným parabolickým až půlkruhovým příčným profilem. Nesoudržný materiál má ve všech místech stejně nízkou odolnost, proto dochází k jeho rozšiřování i prohlubování. Příčný profil se zvětší, ale jeho tvar zůstává ve výsledku v podstatě nezměněn. Pokud se zvýší odolnost břehů, ať už přírůstkem hrubšího popř. soudržného materiálu, přítomností pevného skalního podloží nebo vegetace, koryto se bude zužovat a prohlubovat. VanLooy a Martin (2005) uvádějí případ Green River v Utahu (USA), jejíž koryto se od konce 19. století do 70. let 20. století zúžilo vlivem vegetace o více než 55 %. Toky s odolnými materiály tvořícími dno koryta se naopak vyznačují intenzivní břehovou erozí (Simon a Castro 2003). Břehový materiál je snáze erodovatelný, a voda tak volí snazší cestu podemíláním měkkých břehů než hloubení tvrdého dna. Vývoj širších a mělkých koryt podmiňuje podle Knightona (1984) kromě písčitých břehů rovněž větší spád.

Podélný profil toku od pramene k ústí se degradací a agradací mění tak, aby vznikl ideální tvar, v němž by se veškerá kinetická energie toku beze zbytku spotřebovala na transport materiálu (Horník a kol. 1986). Vývoj spádové křivky by tak měl vést k teoretickému stavu, kdy řeka neeroduje, ani neakumuluje, ale pouze transportuje materiál, který se do ní dostal jinými procesy. Agradace či degradace toku jsou procesy trvající celá léta i desetiletí a zpravidla je není možné odhalit na základě vnějších charakteristik koryta bez dlouhodobějších záznamů (Leopold a kol. 1992). Jak konstatují Leopold a kol. (1992), existuje mnoho zastánců názoru, že divočí toky jsou důkazem přetížení systému sedimenty, a tudíž jsou ve fázi agradace. Na druhou stranu ovšem připouštějí, že divočení samo o sobě ještě není důkazem agradace, neboť agradují také toky, které nedivočí. Podle Gilveara (1999) může vést k agradaci například zúžení říčního koryta. Navzdory zvýšení rychlosti proudu

dojde k redukci transportační schopnosti toku, neboť zúžení způsobí zmenšení plochy pro dnový transport. K degradaci dochází zpravidla při dlouhodobém nedostatku sedimentů, proto je typická v úsecích pod přehradními nádržemi, které unášený materiál zadrží. Po stavbě Hoover Dam došlo za pouhých 10 let k degradaci koryta Colorada o 7 m (Bravard a Petts 1996). Proces degradace omezuje například vegetace stabilizující koryto, výskyt skalních výchozů či přísun sedimentů přítoky či povrchovými splachy z okolí (Leopold a kol. 1992). Velikost sklonu v jednotlivých částech podélného profilu řeky závisí na litologii podloží, tvaru koryta, průtoku vody a v neposlední řadě na erozní základně (Horník a kol. 1986). Změnou výšky erozní báze (např. stavbou přehrady) se změní podmínky proudění v korytě a řeka na to reaguje přizpůsobením svého podélného profilu. Ve zjednodušeném případě způsobí zvýšení erozní základny zmenšení sklonu dna, zpomalení proudění, snížení unášecí schopnosti, a tudíž zanášení koryta, aggradaci. Pokles erozní báze naopak vyústí ve zvýšení sklonu, a tudíž i transportní a erozní činnosti a dochází k degradaci toku. Leopold a kol. (1992) dokládají vliv změn erozní základny studiemi řek s vystavěnými přehradami, které působily jako zvýšená erozní báze. Nad nimi byla patrná aggradace, pod nimi naopak docházelo vlivem nedostatku sedimentů k degradaci. Přesto uzavírají, že se aggradace projevila na mnohem kratším úseku toku nad přehradou, než očekávali.

Přírodní toky si udržují relativně konstantní tvar příčného profilu tím, že ústup erodovaného břehu vyrovnávají akumulací unášeného materiálu u břehu protějšného (Leopold a kol. 1992). Výsledkem tohoto procesu je však laterální posun koryta na údolním dně patrný při pohledu z výšky nebo samozřejmě zaměřením v terénu. Studie dolního toku řeky Spey (Skotsko) dokumentují, že řeka posouváním koryta od roku 1880 přetvořila téměř polovinu údolního dna (Gilvear a Bravard 1996). U meandrujících koryt dochází k přirozenému překládání meandrů v podélném profilu toku a přetváří se i jejich konfigurace napříč říční nivou. Podrobně rozebírá možnosti transformace meandrujících koryt Hooke (1997). Širší změny okolního prostředí se obvykle odrazí ve změně říčního vzorce (Graf 2001). Přímá koryta mají, jak už bylo dříve popsáno, přirozenou snahu zvýšit svou křivolakost a měnit se v meandrující toky. Meandrující a přímá koryta považuje Thornes (1979) za stabilní formy. K jejich destabilizaci a přechodu v divočící typ může podle něj dojít zvýšením průtoků, množství transportovaného materiálu či sklonu. Leopold a kol. (1992) uvádějí další dva důležité faktory ovlivňující změnu říčního vzorce – korytotvorný substrát a vegetace. Homogenní koryta se vyznačují velkým poměrem šířky a hloubky a místo tvorby mělčin a tůň přecházejí spíše k divočení. Přímá koryta s dříve hustě zapojenou vegetací, u nichž došlo k jejímu prořídnutí či úplné destrukci, přešla v krátké době také k divočení.

### **Stádia vývoje koryta**

Charakteristickou posloupností vývoje přirozených říčních koryt se zabývali Simon a Hupp (1987). Na základě dominantních procesů, které v korytě probíhají (transport sedimentů, boční eroze, sesuvy břehů, zanášení atd.), pro ně charakteristických forem (tvar koryta, nátrže...) a odpovídající přítomnosti nebo absenci vegetace vymezili šest stádií vývoje říčního koryta. Definovaná stádia umístili také do charakteristických úseků na toku, přičemž horní tok se vyznačuje výskytem iniciálních stádií vývoje s převažujícím transportním procesem případně mírnou erozí a na dolní tok připadá pátá a šestá kategorie agradujícího koryta s pozvolnými svahy, které dosáhlo určité stabilizace.

### **Role času**

Změny říčního koryta mohou být tak pozvolné a nepatrné, že budou rozpoznatelné až po desetiletích či stoletích, ale stejně tak mohou nastat během několika málo dní či několikahodinové povodně a dosáhnout katastrofálních rozměrů (Kondolf a kol. 2003a). Simon a Castro (2003) proto zdůrazňují zohlednění časového hlediska při interpretaci změn tvaru koryta. Nejrychleji, za méně než rok, dochází ke změnám příčného profilu a dnových struktur, mění se velikost zrn, jejich rozložení, poloha akumulací atd. (Gilvear a Bravard 1996; Brierley a Fryirs 2005). V měřítku let se mohou měnit větší korytové a nivní formy (lavice, mělčiny, tůň atd.), ale také geometrie koryta (kapacita koryta, tvar, zužování nebo rozšiřování, degradace nebo agradace). Všechny tyto relativně krátkodobé změny bývají způsobené nově vzniklými podmínkami proudění nebo přísunu sedimentů. Reakce koryta na zmenšení či nárůst průtoků i transportovaného materiálu podrobně rozebírá Werritty (1997). Nejdéle, desítky až tisíce let, probíhají změny celkového podélného profilu a půdorysného profilu v rámci nivy (Gilvear a Bravard 1996; Brierley a Fryirs 2005).

### **2.3.2 Antropogenní zásahy**

Člověk se stal jedním z nejvýznamnějších činitelů utvářejících vzhled říčních koryt. Přirozený tvar vznikající po celá tisíciletí přetvořil během několika měsíců či let, v závislosti na rozsahu a rychlosti stavebních prací. Narušením přirozených původních podmínek v povodích, zejména celosvětově rozšířenými změnami využití půdy, dlouhodobě zasáhl do fluviálních pochodů v širokém okolí, a tak tímto nepřímým způsobem vyvolal změny v korytotvorných procesech. Okamžitý a zásadní efekt na tvář vodních toků však mají přímé změny koryt. Z meandrujících hustou vegetací stabilizovaných koryt člověk vybudoval během krátké doby přímá opevněná koryta bez stopy vegetace, tůň či jiné charakteristické formy,

souvislé toky rozčlenil vystavěnými jezy a přehradami, čímž ovlivnil celou škálu říčních vlastností a přirozených procesů (Bravard a Petts 1996).

### **Přehradní nádrže a jezy**

Přehrady jsou na řekách po celém světě budovány pro účely zásobování vodou, využití energie či protipovodňovou ochranu již více než 5 000 let. Bravard a Petts (1996) udávají, že přehrady regulují v současnosti režim více než 20 % řek v Africe i Severní Americe. V Evropě a Asii dosahuje tento podíl 15 % a v Jižní Americe zhruba 5 %. Celkově stojí v dnešní době na světových řekách více než 45 000 přehrad vyšších než 15 m, schopných zadržet více než 6 500 km<sup>3</sup> vody (Nilsson 2005). V České republice je postaveno přibližně 150 přehrad, které zadržují 4,864 km<sup>3</sup> vody (Červinka 1995).

Výstavby jezů a přehrad porušily přirozenou spojitost říčních koryt, změnily sklonitostní poměry koryt, hydrologický režim i režim transportu sedimentů, negativně ovlivnily kvalitu vody, teplotní režim řek i podmínky pro život vodních organismů (Bravard a Petts 1996). Ačkoliv rozměry jezů jsou nesrovnatelně menší než u přehrad, představují i oni významnou překážku jak pro pohyb vodních živočichů, tak proudění vody a sedimentů. V úsecích nad jezy dochází stejně jako v nádržích k rozsáhlé akumulaci sedimentů a pod nimi naopak o sedimenty ochuzený proud koryto vymílá (Leopold a kol. 1992; Bravard a Petts 1996; Surian 2002). Detailně se efektem přehrad na morfologii říčních koryt a režim proudění zabývají Bravard a Petts (1996).

### **Meliorace a regulace**

Řada vodních toků byla změněna v závislosti na zemědělské činnosti člověka, byly vybudovány kultivační terasy, zavodňovací a odvodňovací kanály (Havrlant a Buzek 1985), říční koryta byla napřímena a opevněna umělým materiálem. Na letité protipovodňové regulace vodních toků, k jejichž rozšíření výrazně přispěly katastrofální povodně v 90. letech 19. století, navázaly zemědělské úpravy drobných toků, umožňující funkci plošných odvodňovacích soustav (Just a kol. 2003). Ve 20. století se objevovaly vlny zvýšené aktivity regulačních a odvodňovacích prací během 1. světové války, ve 30. letech, v 50. a 60. letech v souvislosti se zemědělskou kolektivizací a vrcholem byla 70. a 80. léta, kdy se velkoplošné odvodňování setkal s mohutnou chemizací zemědělství (Just a kol. 2003). Odvodňovací systémy měly odvádět nadbytečnou vláhu, aby byla půda schopná pojmout více vody z příchozích srážek. Martiš (1988) však uvádí, že odvodňování zaměřené na těžké a nepropustné půdy se s rozvojem těžké techniky rozšířilo na prakticky všechny půdy, které nezaručovaly po celou vegetační dobu požadovanou únosnost pro těžké zemědělské stroje. Meliorační systém tak svedl část povrchového odtoku v odtok drenážní, který je rychlejší než

odtok přirozený, a navíc půdu rychleji vysouší. Vodní toky byly napříměny a svedeny do betonových koryt s cílem zvládnout velké vodní stavy, splavit toky a zpřístupnit pozemky těžké mechanizaci. Kanalizování řeky Mississippi v letech 1929-1942 znamenalo redukci délky o 240 km (Bravard a Petts 1996). Ale spoutáním toků do kanalizačního potrubí a zvýšením spádu se zrychlil odtok vody z krajiny a povrchový tok byl izolován od toku podpovrchového. Regulace toků současně znamenaly snížení hladiny spodních vod v půdě, změny rostlinných a živočišných společenstev, vysušování krajiny způsobené nepřirozeně zrychleným odtokem a snížení samočisticí schopnosti řek (Havrlant a Buzek 1985). Jen v České republice byla za posledních 100 let zkrácena délka vodních toků asi o třetinu, tzn. zhruba o 9 000 km, a ze současné délky 16 912 km je 5 639 km toků upravených (Červinka 1995).

### **Revitalizace**

Od 70. let 20. století se ve vyspělých zemích objevují, jako součást snah o rekonstrukci narušené krajiny a obnovení jejího přírodě blízkého stavu, vodohospodářské revitalizace (Just a kol. 2003). Revitalizace zahrnují v širším smyslu „takové zásahy, které se snaží posílit přírodní a krajinné hodnoty a současně příznivé vodohospodářské funkce vodního prostředí“ (Just a kol. 2003). Jensen a kol. (2006) rozlišují aktivní revitalizace, které jsou přímým zásahem člověka zaměřeným na konstrukci přírodně vypadajících kanálů a simulaci procesů, které v původním korytu probíhaly. Mezi tzv. pasivní revitalizace, které jsou oblíbené zejména v Severní Americe, zahrnují revitalizaci klíčových říčních procesů. Tímto způsobem jsou ovlivněny ekosystémy v širším prostorovém i časovém měřítku, než je možné prostřednictvím aktivní revitalizace. Jen v Dánsku bylo do roku 1998 realizováno 1068 revitalizací, ve Spojeném království něco přes 750 projektů, ve Spojených státech jsou ročně vynakládány na říční a potoční revitalizace miliardy dolarů (Palmer a kol. 2005; Wheaton a kol. 2006). V Čechách je rozvoj revitalizací spjatý s 90. léty 20. století a Programem revitalizace říčních systémů PRŘS (Just a kol. 2003). Jak ale podrobně popisuje Reuss (2005), tomu, že jsou dnes revitalizace v rozvinutém světě poměrně rozšířené, předcházela zdlouhavý boj nejen mezi ekology, ekonomy a politiky.

Říční a potoční revitalizace si obvykle kladou za cíl tlumení průběhu velkých vod, zvýšení retenční schopnosti krajiny, stabilizaci břehů, zlepšení kvality vody, zvýšení biodiverzity vodních a na ně navazujících společenstev atd. (Just a kol. 2003; Bernhardt a kol. 2005; Palmer a kol. 2005; Jensen a kol. 2006). Jak ovšem blíže popisují McDonald a kol. (2004), cíle revitalizací nemohou být striktně ekologické, neboť podléhají vlivům místní správy i nejrůznějších zájmových skupin a společností. Nejčastěji jsou revitalizace prováděny

za účelem vytvoření členitějšího, méně zahloubeného koryta s menší kapacitou z klasicky upraveného koryta – napřímeného, nepřírozeně zahloubeného a opevněného plnými nebo polovegetačními tvárnici. Tato úprava s sebou nese konkrétní měřitelné změny, kterými se Just a kol. (2003) podrobně zabývají. Patří mezi ně zvětšení plochy omočeného povrchu koryta nahrazením betonového opevnění přírodním kamenivem. Zvětšení této plochy má posléze výrazný podíl na zvýšení samočisticí schopnosti vody, neboť jsou vytvořeny příznivé podmínky pro život nejvýznamnějšího samočisticího činitele v drobných tocích – bentosu. Dále je obvykle posílena stabilita koryta, neboť úpravy zahrnující snížení kapacity koryta, zvlnění jeho průběhu a zdrsňení dna působí na vodu zpomalovacím efektem. Revitalizací koryta bývá také zvětšena aktuální zásoba vody v korytě a mělké podzemní vody v údolní nivě. Z biologického pohledu hraje výraznou roli už zmíněné zvýšení členitosti koryta, čímž dojde k vytvoření přirozených úkrytů pro řadu živočišných druhů. V neposlední řadě dojde ke zlepšení vzhledu koryt a niv a nahrazení degradovaných povrchů krajinářsky a biologicky hodnotnějšími prvky.

## **2.4 Metody výzkumu dynamiky říčních koryt**

Intenzivní snaha o porozumění procesům vývoje říčních koryt a vědeckotechnický rozvoj daly vzniknout celé řadě metod používaných pro výzkum dynamiky říčních koryt. Jednotlivé metody je možné rozdělit do obecných kategorií například na historické, geodetické, kartografické, fotogrammetrické, geomorfologické, hydrologické, vegetační, statistické, radiometrické atd. Přehled metod používaných pro studium změn vodních toků uvádí celá řada autorů (Knighton 1984; Hooke 1997; Kondolf a Piégay 2003; Hooke 2007).

Detailní informace o studované lokalitě pro určité monitorované období získáme pomocí přímých pozorování a terénními metodami výzkumu. Jak uvádí Skokanová (2005), metody přímého monitoringu eroze či sedimentace, měření průtoků a transportu sedimentů se používají zejména v případě rychlých změn koryta nebo při zjišťování dominantních procesů probíhajících změn. Výhodou terénních metod je, že si sami můžeme určit hustotu měřených příčných profilů, frekvenci opakujících se měření i množství měřených parametrů a tak získat detailní informace o studované lokalitě. Terénní měření morfologie koryta se v současnosti úzce váže na geodetické metody výzkumu. K pásmu přibýly jako nezbytnost laserové dálkoměry a geodetické totální stanice, které zaměřování profilů, dnových tvarů i samotných koryt značně zjednodušily a zpřesnily. Terénní měření se nejčastěji provádí v dubnu resp. na začátku května, kdy zůstávají dobře patrné následky jarního tání a vegetace ještě nezakrývá

koryto a jeho dnové útvary (Hooke 2007). Negativem terénních metod pro studium změn morfologie koryta je jejich časové omezení. Naměřená data detailně vypovídají o charakteru toku resp. koryta během sledovaného období, které je ovšem s ohledem na rychlost přirozeného vývoje dnových forem, podélného profilu či půdorysu koryta v nivě velice krátké.

Velikost příčného profilu (plnopřůčného) udává plocha  $A_{bkf}$ , šířka  $W_{bkf}$  a jejich poměrem odvozená průměrná hloubka  $d_{bkf}$ . Tvar profilu je popisován parametrem  $\omega$  (Gilvear a Bravard 1996):

$$\omega = W_{bkf} / d_{bkf}$$

Některými autory je počítán jako poměr šířky  $W_{bkf}$  a maximální hloubky  $D_{bkf}$  (Harnischmacher 2007; Western a kol. 1997). Western a kol. (1997) využívají k definování tvaru také parametr  $\psi$ , který vyjadřují vzorcem:

$$\psi = A_{bkf} / (\omega \times Z_{bkf}^2)$$

V případě jejich parametru  $\psi$  označuje maximální hloubku plnopřůčného profilu  $Z_{bkf}$  a  $\omega$  je počítána jako poměr šířky  $W_{bkf}$  a právě maximální hloubky  $Z_{bkf}$ . Fahnestock (1963) používá tzv. faktor tvaru (form factor), který počítá poměrem maximální hloubky  $D_{bkf}$  a průměrné hloubky profilu  $d_{bkf}$ . Šířka koryta je podle Grafa (2001) nejsnadněji měřitelným a zároveň nejpoužívanějším indikačním parametrem změn v říčním korytě, neboť je velice citlivá na změny průtoků. Jak už bylo dříve uvedeno, používá se šířka koryta v místě vymezení plnopřůčného profilu, jejíž určení není vždy jednoznačné, nebo v úrovni vodní hladiny jako šířka protékaného koryta. Šířka protékaného koryta je stěžejní pro výpočty hydraulických charakteristik koryta. Společně s hloubkou vodního sloupce udává plochu protékaného koryta, která je společně s rychlostí proudění klíčová pro výpočet průtoku (Leopold a kol. 1992). Pro výpočty týkající se morfometrie koryta má šířka protékaného koryta díky těsné vazbě na aktuální vodní stav, resp. průtok, a tudíž vysoké variabilitě, malou vypovídací schopnost. Poměr šířky a hloubky koryta  $\omega$  je často používaný k popisu tvaru příčného profilu, ačkoliv Pickup (1976) uvádí řadu nedostatků tohoto parametru. Jedním z nich může být nejednoznačnost vypočtených hodnot, které se mohou rovnat, i když odpovídají zcela odlišným tvarům profilů. Dokonalejší obraz o tvaru profilu získáme současným výpočtem druhého parametru  $\psi$  používaným Westernem a kol. (1997), který se v případě trojúhelníkového profilu rovná 0,5 a pro obdélníkový tvar dosahuje 1. Hodnoty parametru  $\omega$



při použití průměrné hloubky se zpravidla výrazně liší od hodnot vypočtených pomocí maximální hloubky, proto se doplňují o tzv. **faktor tvaru** (form factor), který je vyjádřen poměrem maximální hloubky a průměrné hloubky. Jeho hodnoty se pohybují okolo 1 pro obdélníkový tvar příčného profilu, okolo 1,5 pro tvar parabolický a hodnota 2 a více značí trojúhelníkový tvar profilu (Fahnestock 1963). Rosgen (1996) doporučuje při charakteristice příčných profilů použít také omočený obvod (**WP**) a hydraulický rádius ( **$R_{bkf}$** ) plnoprůtočného profilu. Omočený obvod odvozuje z grafu příčného profilu (jako délka linie břehů a dna) nebo přibližně pomocí vzorce:

$$WP = (2 \times d_{bkf}) + \left[ (W_{top} + W_{bottom}) / 2 \right]$$

Hydraulický rádius (poloměr) je určen poměrem plochy a omočeného obvodu profilu a vyjadřuje velikost odporu vznikajícího třením vody o nerovné dno a břehy (Netopil a kol. 1984):

$$R_{bkf} = A_{bkf} / WP$$

Western a kol. (1997) ve své práci používají také parametr  **$E$** , který vypovídá o vertikální poloze zaměřených příčných profilů. Parametr  **$E$**  vyjadřuje odchylku skutečné hodnoty thalwegu (tj. nadmořské výšky nejhlubšího bodu v příčném profilu) od jeho očekávané hodnoty (tj. regresní přímky proložené hodnotami thalwegu jako funkce vzdálenosti). Kromě kvantitativních veličin můžeme na příčném profilu definovat charakter dna, břehů, případných akumulčních či erozních forem (Simon a Castro 2003). Xu (2002) studoval vývoj koryta dolního toku Žluté řeky v Číně s využitím šestatřiceti příčných profilů pravidelně měřených v letech 1986 – 1994. Skalická (2008) zaměřovala na Tiché Orlici dokonce 55 příčných profilů. Při rozšíření příčného průřezu na okolní terén se může hodnotit velikost a charakter nivy a počet, výška popř. složení říčních teras. Rosgen (1994) použil ve své klasifikaci vodních toků parametr zahloubení koryta (entrenchment ratio), který počítal jako poměr mezi šířkou zátopového území (flood-prone width  **$W_{fpa}$** ) a šířkou koryta  **$W_{bkf}$** . Šířku zátopového území přitom ztotožňuje s šířkou v úrovni dvojnásobku maximální hloubky plnoprůtočného profilu  **$D_{bkf}$** . Kromě příčných profilů se monitorují parametry podélného profilu koryta. Zahrnují měření nadmořských výšek a sklonitosti dna koryta, vodní hladiny, plnoprůtočné úrovně na březích, thalweg (linie maximální hloubky v korytě), měření výšky břehů, sklonu údolního dna (valley slope), případně rozložení a rozměry útvarů jako jsou mělčiny, tůně, stupně nebo kaskády (Rosgen 1996; Simon a Castro 2003). Jak zdůrazňuje Rosgen (1996), zaměřují se

rozměry a poloha všech nerovností či útvarů, které nějak mění jednoduchý charakter říčního dna nebo břehů.

S rozvojem geografických informačních systémů (GIS) nabyly na významu tzv. historické metody výzkumu dynamiky koryt. S použitím GIS bylo možné upravit staré mapové podklady nebo letecké snímky a získat cenné informace o průběhu a charakteru toků z období, kdy nejsou dostupná žádná data z terénního měření. Historické záznamy, jako jsou písemné dokumenty, fotografie, mapy nebo letecké snímky, poskytují hodnotné informace týkající se sledovaného toku popř. celého povodí dokonce stovky let nazpět, tudíž za výrazně delší časový úsek než umožňuje přímé pozorování. Gilvear (1999) v této souvislosti popisuje studii zabývající se výzkumem změn koryta řeky Tay (Skotsko) v průběhu uplynulých 250 let s použitím kartografických dokumentů. Letecké snímky umožnily člověku pohled na říční nivy z ptáčích perspektiv, a tudíž identifikovat i tvary, které mohou zůstat při terénním průzkumu skryté (např. odškrcená říční ramena, terénní prohlubně po dávno opuštěných korytech atd.). Z leteckých snímků je možné relativně jednoduše změřit charakteristiky meandrujících toků. Kromě míry křivolakosti k nim patří délka vlny meandru  $L_m$ , poloměr zakřivení meandrového oblouku  $R_e$ , amplituda  $A_m$ , poměr délky vlny meandru a šířky koryta ( $L_m / W_{bkf}$ ), šířka meandrového pásu atd. (Rosgen 1996; Simon a Castro 2003). Chew a Ashmore (2001) použili letecké snímky pro odhalení historických změn koryta řeky Sunwapta River (Alberta, Kanada) v letech 1938 – 1992. Hooke (2007) zpracovávala a vyhodnocovala pomocí GIS mapy a snímky zobrazující koryto řeky Dane v severozápadní Anglii za uplynulých více než 150 let. Skokanová (2005) studovala pomocí historických map a leteckých snímků rozsah antropogenních zásahů do trasy koryta Dyje v období téměř dvou set let (1830-2001). Buckingham a Whitney (2007) využili letecké snímky v kombinaci s digitálním modelem terénu (DEM) pro přesnější změření přírůstku resp. úbytku sedimentů v korytě a říční nivě Las Vegas Wash. Historické záznamy použila ve své práci i řada dalších autorů (Marston a kol. 1995; Urban a Rhoads 2003; Bicanová 2005; VanLooy a Martin 2005; Boix-Fayos a kol. 2007; Korpak 2007). Analýzy historického průběhu říčních koryt se staly nezbytností také pro revitalizační praxi a jsou jedním z nástrojů hodnocení úspěšnosti revitalizačních projektů (Downs a Kondolf 2002; Palmer a kol. 2005). Na základě starých katastrálních map byla pro účely revitalizace provedena například analýza historického průběhu dolního toku Moravy, a to pro období 1896-1962, kdy skončily na řece regulační práce (Pišút 2006). V České republice použili historické dokumenty při analýze dynamiky říčních koryt například také Hradecký (2002) a Skalická (2008). Ve většině případů se historické materiály používají pro sledování změn v celém povodí (land-use) a půdorysného

profilu toku, pro změny sklonu, podélného profilu či příčných profilů zpravidla nebývají k dispozici potřebné záznamy (Hooke 1997). Předpokladem historické analýzy v GIS je georeferencování snímků či map, tzn. převedení do jednotného souřadného systému, aby přes sebe mohly být následně jako jednotlivé vrstvy překryty. Jak ale zdůrazňují Downward a kol. (1994), je třeba brát v úvahu, že není možné takto použít veškeré staré mapy. Hlavní roli hraje především podrobnost, s jakou byly mapy pořizovány. U menších toků nebo u řek méně dynamických mohou být navíc změny celkem nepatrné, a je proto důležité rozlišovat hranici mezi reálně proběhlými změnami a rozdíly způsobenými pouhou chybou zpracování či zdrojových dat. Nejčastějším ukazatelem používaným pro vyjádření chyby vzniklé při georeferencování je RMSE (Root Mean Square Error), ale Hughes a kol. (2006) upozorňují na nevhodnost jejího použití např. při měření laterálního posunu koryta. RMSE braná jako výchozí bod pro hodnocení počítačově změřených údajů může vést k podhodnocení nebo naopak nadhodnocení skutečných změn. Downward a kol. (1994) a Hooke (1997) se podrobně zabývají dalšími výhodami i negativy počítačového zpracování historických map a leteckých snímků.

Stále větší pozornost je věnována roli vegetace v korytotvorných procesech (Simon a Hupp 1987; Marston a kol. 1995; Simon a Downs 1995; Brooks a kol. 2003; Hupp a Bornette 2003). Geomorfologické studie využívají vegetaci při výzkumu a interpretaci fluviálních procesů dvěma hlavními způsoby – dendro-geomorfologická analýza a mapování distribuce jednotlivých rostlinných druhů v zájmové lokalitě (Hupp a Bornette 2003). Dendro-geomorfologická analýza kombinuje metodu dendrochronologického datování, která je založená na počítání letokruhů v řezech z kmenů stromů (Svoboda a kol. 1983), s geomorfologickým mapováním útvarů v říční nivě nebo korytě. Jejím cílem je časové zařazení historicky významných událostí, zpravidla extrémních povodní, které po sobě zanechaly stopy v podobě rozsáhlých nivních akumulací či erozních tvarů, a zjištění rychlosti erozních či sedimentačních procesů např. u degradujících resp. agradujících toků (Hupp a Bornette 2003). Hupp (1984) touto metodou získal záznam o událostech za uplynulých 300 let ve studovaných pěti tocích v okolí Mount Shasta v Kalifornii, Friedman a kol. (1996) ji použili při výzkumu na Plum Creek v Coloradu. Knighton (1984) uvádí i další datovací techniky, které je možné ve výzkumu použít obdobně jako dendrochronologii. Složení a distribuce rostlinných druhů v říčním korytě a jeho příbřežním pásmu odráží převládající hydro-geomorfologické podmínky a specificky ovlivňuje korytotvorné procesy. Rozmístění druhů je dáno jejich tolerancí k daným podmínkám, proto v trvale zaplavených, periodicky zatopovaných či suchozemských částech koryta, resp. nivy, prosperují různé druhy. Změna

charakteru vegetace se například používá k identifikaci rozhraní plnoprůtočného profilu koryta a říční nivy (Harrelson a kol. 1994; VanLooy a Martin 2005; Golden a Springer 2006). Zpevňující efekt vegetace již byl dříve diskutován, ale dostatečný rostlinný pokryv příbřežních zón přispívá také ke zlepšení kvality vody, neboť funguje jako filtr sedimentů, živin a nejrůznějších kontaminantů přicházejících do toku povrchovými splachy (Kondolf a kol. 2003b). Zvláštní úlohu hraje v rámci vegetace tzv. mrtvé dřevo v korytě resp. popadané kmeny stromů o velikosti přesahující 10 cm v průměru (large woody debris). Ovlivňuje podmínky proudění, sedimentaci i erozi v říčním korytě, a proto je efektu jeho působení rovněž věnována zvýšená pozornost (Hupp a Bornette 2003; Jeffries a kol. 2003; Harnischmacher 2007).

Cílem většiny prací v oboru je odhalení příčiny určitých procesů, a tudíž vzájemných vztahů a závislostí mezi nejrůznějšími parametry, tzn. proměnnými veličinami, které by tento proces mohly způsobovat nebo alespoň jistým způsobem ovlivňovat. Nezbytným nástrojem se proto staly statistické metody. Jak uvádí, Clément a Piégay (2003), většina fluvialně-geomorfologických studií pracuje pouze s jednoduchou popisnou statistikou (průměr, medián, modus, směrodatná odchylka atd.), metodami korelace a regresní analýzou (Brooks a kol. (2003) v Austrálii, Kolberg a Howard (1995) a Golden a Springer (2006) v USA, Harnischmacher (2007) v Německu). Regrese je nejčastější metodou při charakterizaci geometrie koryta. Clément a Piégay (2003) tento fakt dokumentují celou řadou studií, které na základě regrese určili vztahy mezi průtokem a šířkou koryta, plochou povodí a velikostí příčného profilu atd. VanLooy a Martin (2005) ověřovali statistickými metodami průkaznost zjištěných změn průměrných šířek koryta ve třech sledovaných letech a dvou úsecích toku. Pro porovnání šířek z let 1953 a 1991 s šířkami z roku 2001 použili Wilcoxonův test, t-test aplikovali na srovnání roku 1953 s 1991. Vzájemné porovnání změn proběhlých na obou úsecích provedli pomocí Mann-Whitneyova (Wilcoxonova) testu. Richard a kol. (2005) na základě výpočtů Pearsonova korelačního koeficientu, F-testů a mnohonásobné regrese prokázali vztah mezi rychlostí laterálního posunu koryta a průtokem, šířkou koryta či silou toku (stream power) a současně uvádějí celou řadu studií, které použily statistickou analýzu pro definici vztahů mezi rychlostí laterálního posunu říčního koryta a dalšími parametry (šířkou koryta, obsahem plavenin, zrnitostí dnového materiálu atd.). Detailně se celým spektrem statistických metod a možnostmi jejich využití ve fluvialní geomorfologii zabývali Helsel a Hirsch (2002) a Clément a Piégay (2003).

Nejčastěji používají fluvialní geomorfologové současně více různých metod, jejichž kombinace umožní lepší zachycení skutečného stavu a klíčových etap vývoje. Stěžejní data

z terénního měření a historických podkladů zpravidla doplňují o několikaleté řady průtoků, srážek a o analýzy zrnitosti. Kondolf a kol. (2002) prováděl výzkum na řece Pine Creek v USA a na Dromě ve Francii. Pomocí kombinace metod zjišťoval reakci těchto toků na různé změny ve využití půdy v povodí. Porovnával letecké snímky území pořízené v různých letech, archivní dokumenty týkající se historických událostí v okolí toků (požáry, stavby komunikací, odlesnění a zalesnění atd.), údaje o počtu obyvatel a katastrální mapy. Zároveň analyzoval záznamy o povodňových událostech na studovaných tocích i na řekách v blízkém okolí. VanLooy a Martin (2005) studovali změny tvaru a vegetace koryta Cimarron River (Illinois, USA) ve vazbě na srážkoodtokové události. Zjištěné zúžení koryta a nárůst příbřežní vegetace za posledních 70 let odpovídalo poklesu průtoků v tomto období. Nižší maximální průtoky podpořily akumulaci sedimentů v korytě a následně rozšíření vegetace, která je zpevnila. V důsledku absence vyšších průtoků, které by nárazově pročistily koryto, začaly v korytě dominovat sedimentační procesy. Boix-Fayos a kol. (2007) prováděli v povodí španělské řeky Rogativa podrobná terénní mapování 58 přehradních nádrží, tří vytypovaných úseků hlavního toku a měření několika příčných profilů na hlavním toku i na přítocích. Součástí studie byla také zrnitostní analýza 44 vzorků dnových sedimentů odebíraných zhruba po 200 metrech, historická analýza leteckých snímků znázorňujících situaci během uplynulých padesáti let a použili také klimatologická data a více než padesátiletou řadu průtoků z měřicí stanice. Zrnitostní analýzou dnových sedimentů se podrobně zabýval Surian (2002). Na 150 kilometrů dlouhém úseku řeky Piavy (Itálie) studoval velikostní variabilitu dnového materiálu v podélném profilu toku. Rozbor zrnitosti dnového materiálu byl stěžejní metodou také ve studii Bartholdyho a Billiho (2002), kteří v Toskánsku sledovali chování pseudomeandrujícího koryta řeky Cecina. Terénní měření šířek a hloubek příčných profilů doplnili o řady průtoků a zrnitostní rozbor dnového a břehového materiálu také Kolberg a Howard (1995).

### **3 CHARAKTERISTIKA POVODÍ SVIŇOVICKÉHO POTOKA**

#### **3.1 Přírodní poměry**

Sviňovický potok je drobným tokem v povodí horní Blanice. Povodí Sviňovického potoka je rozlohou nepatrné území (méně než 2 km<sup>2</sup>) protáhlého tvaru ležící jihovýchodně od města Prachatice v Jihočeském kraji (Obr. 2).

Reliéf povodí s průměrným spádem 13,2 % se svažuje od severovýchodu, kde nadmořská výška přesahuje 950 m, směrem do údolí toku a k jeho ústí do Zbytinského potoka

(ve výšce zhruba 775 m n.m.), přičemž rozvodnice probíhá na západě přes Suchého kopec (818 m), Sviňovický vrch (934,7 m) a východně od linie potoka přes Schánělvův kopec. Svůj název získal potok díky prameništi u osady Sviňovice patřící do správního území obce Zbytiny. Povodí Sviňovického potoka je důležité z hlediska ochrany přírody, neboť se zde nachází Přírodní památka Pod Sviňovicemi a nejjižnější část území spadá do Chráněné krajinné oblasti Šumava (hranice probíhá souběžně s hlavní komunikací II/165 Zbytiny – Volary). Přehlednou mapu území v rámci povodí Zbytinského potoka znázorňuje Obr. 3.

### **3.1.1 Geologie a geomorfologie**

Podloží celého povodí Sviňovického potoka je tvořeno moldanubickými horninami prekambriického až paleozoického stáří (Pelc 1996; Kodym 1962). Jak uvádějí Mísař a kol. (1983), charakteristickým rysem moldanubické oblasti, která tvoří jižní část Českého masívu, je vysoký stupeň metamorfózy, přítomnost specifických typů metamorfitů (granulity, serpentinity, cordieritické migmatity), intenzivní migmatitizace a četné průniky granitoidních masívů. Na základě členění Kodyma a kol. (1961) lze povodí zařadit do tzv. jednotvárné série volarské oblasti, která jižně od Zbytinského potoka sousedí s granulitovým křišťanovským masívem. Geologická mapa studované oblasti (Obr. 4) potvrzuje, že pro jednotvárnou sérii je charakteristický výskyt sillimanit-biotitických migmatitizovaných pararul převážně páskovaných, často s granátem, cordieritem a muskovitem, které se někdy řadí mezi injikované pararuly. Tyto břidličnaté horniny velmi snadno podléhají zvětrávání, jehož produktem jsou málo propustné hlíny (Kodym a kol. 1961). Na řadě míst přecházejí pararuly v biotitické a cordierit-biotitické migmatity. Ty se vyznačují tmavým modrošedým zbarvením s víceméně pravidelným ložním páskováním (Kodym a kol. 1961). V oblasti soutoku Sviňovického potoka se Zbytinským potokem je podloží tvořeno rekrytalizovaným granulitem. V západní části povodí tvoří výrazné vyvýšeniny (přes 820 m) odolné amfibolity a intruze gabroamfibolitu, temné horniny se střední zrnitostí (Kodym a kol. 1961). Gabroamfibolit je původně gabrová hornina, která prodělala metamorfní proměnu v mělkých částech zemské kůry a která je svým petrografickým složením v jihočeském moldanubiku zcela ojedinělá (Babůrek a kol. 2006; Kodym a kol. 1961). Staré moldanubické horniny jsou v širokém okolí toku překryty pleistocénními deluviálními a deluviálně soliflukčními hlinitopísčnými a hlinitokamenitými sedimenty. Linii toků kopírují holocénní fluvialní a deluviofluvialní hlíny a písky a depresní polohy vyplňují rašeliny.

Geomorfologické zařazení zájmového povodí (Obr. 5) vychází z podrobného geomorfologického členění reliéfu Čech Balatky a Kalvody (2006). Území Čech, patřící

provincii Česká vysočina, je takto rozděleno na subprovincie, oblasti, celky, podcelky, okrsky, podokrsky a části. Povodí Sviňovického potoka spadá do Šumavské subprovincie, oblasti Šumavská hornatina a v rámci celku Šumavské podhůří do podcelku Prachatická hornatina a okrsku Libínská hornatina. Libínská hornatina se poté dále člení na podokrsky Zbytinská vrchovina a Libínský hřbet, v jehož sviňovické části (s kódem IB2D1a3) leží zájmové povodí. Z hlediska morfografické typologie Balatky a Kalvody (2006) určované na základě výškové členitosti a střední výšky patří oblast mezi pahorkatiny s větším výškovým rozpětím (vyšší).

### 3.1.2 Hydrologie

Sviňovický potok pramení nedaleko osady Sviňovice SSZ od obce Zbytiny. Je pravým přítokem Zbytinského potoka (ústí na km 0,214), který se západně od Zbytin vlévá z pravé strany do řeky Blanice, přítoku Otavy. Podle absolutní řádovostní klasifikace je proto Sviňovický potok tokem VI. řádu (Obr. 6). Povodí Zbytinského potoka má číslo 1-08-03-008 (Kohoutek 1987).

Plocha povodí Sviňovického potoka činí podle vlastního vymezení i údajů ZVHS Prachatic (1971) téměř 1,8 km<sup>2</sup>. Hydrologické podmínky v něm byly výrazně změněny lidskou činností. Z okolních pozemků zmizely meze, které bránily urychlenému splachování půdy z polí (viz kapitola 3.1.5), pozemky kolem potoka byly odvodněny, koryto bylo napřímeno a vybetonováno (viz kapitola 3.3.1) a jeho ústí do Zbytinského potoka bylo posunuto západně (viz kapitola 5.1). Na jaře 2005 byla část toku revitalizována (viz kapitola 3.3.2). V roce 2008 byly v těsném sousedství dolního toku Sviňovického potoka vystavěny dvě vodní nádrže sloužící nově vybudované čistírně odpadních vod (Obr. 10).

Sviňovický potok je dlouhý přibližně 2 km (VÚV TGM 2005a). V pramenné oblasti pod Sviňovicemi se nachází hned několik drobných koryt, která mizí v zamokřeném bažinatém území v horní části povodí. Podzemní meliorační klostrou byla voda z těchto ploch svedena do společného koryta, kam vtéká z propustku pod hospodářským přejezdem zhruba na 1,668 km od ústí do Zbytinského potoka (Obr. 11a). Až do vzdálenosti 1,138 km od ústí, tzn. k hospodářskému přejezdu TK 60/125, má koryto zpravidla jednotný lichoběžníkový profil a prakticky přímý průběh (míra křivolakosti 1,003) s průměrným sklonem překračujícím 4 % (Tab. 1). Na některých místech již došlo k narušení betonových desek a částečnému rozvolnění profilu (Obr. 11b). Zbylá část toku, od ústí po hospodářský přejezd TK 60/125, má nezpevněné koryto s proměnlivým tvarem příčného profilu, které je v podélném profilu přehrazeno mostním propustkem pod silnicí II/165. Úsek toku nad

mostem je navzdory provedené revitalizaci téměř přímý (míra křivolakosti 1,02) a průměrný sklon převyšuje 2,5 % (Obr. 11c; Tab. 1). Pod silničním mostem vykazuje potok větší tendenci k meandrování, i když míra křivolakosti je stále velice nízká (1,043) a také průměrný sklon je již menší než 2 % (Obr. 11d; Tab. 1). Sviňovický potok není příliš vodným tokem. Denní maxima vodních stavů se pohybují nejčastěji mezi 20 a 60 mm (Obr. 25).

Jak uvádějí Albrecht a kol. (2003), zájmová oblast, stejně jako celý okres Prachatice, patří k hydrogeologickému rajonu „Krystalinikum v povodí horní Vltavy a Úhlavy“ s omezenými zásobami podzemních vod. Od roku 1978 je navíc Šumava v hranicích CHKO, a tudíž i část charakterizovaného území, vyhlášena Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod (CHOPAV) (Albrecht a kol. 2003). Část území spadající do PP Pod Sviňovicemi v pramenné oblasti toku je v rámci ochranného pásma jímacích vrtů vodovodu obce Zbytiny oplocena.

### 3.1.3 Klima

Povodí Sviňovického potoka se rozkládá v poměrně chladné oblasti podhůří Šumavy s průměrnou roční teplotou vzduchu mezi 5 a 6°C (Tolasz a kol. 2007). Průměrné sezónní teploty vzduchu vypočtené na základě teplotních řad za období 1961-2000 se pohybují od -3 až -2°C v zimě po 11-12°C v létě, nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -4 až -3°C a nejteplejším červenec se 13-14°C. Průměrná doba trvání průměrné denní teploty vzduchu 10°C a více je 120-140 dní, přičemž průměrná denní teplota 20°C a více trvá v průměru pouze 2-5 dní. Ročně se v této oblasti podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz a kol. 2007) vyskytuje v průměru 160-180 mrazových dní.

Celá oblast je srážkově relativně bohatá s průměrnými ročními úhrny mezi 700-800 mm, přičemž v letním půlroce (duben-září) činí průměrný srážkový úhrn 450-500 mm (Tolasz a kol. 2007). Údaje se v zásadě shodují s měřeními srážkoměrné stanice Zbytiny, které probíhají od června 1984. Průměrný roční úhrn srážek podle nich činí 742,9 mm, přičemž srážkově nejvydatnější jsou letní měsíce (srpen 88,5 mm; červenec 85,9 mm), srážkově nejchudší potom duben 40,4 mm a únor 44,8 mm. Sněhové srážky se vyskytují v průměru 70-90 dní za sezónu a sněhová pokrývka z nich leží v průměru 60-100 dní (Tolasz a kol. 2007).

Klimatickou oblast, ve které zájmové povodí leží, vymezil Quitt (1970) jako CH7 čili nejteplejší chladná oblast, která je charakterizovaná velmi krátkým až krátkým létem, které je mírně chladné a vlhké, dlouhým přechodným obdobím s mírně chladným jarem a mírným podzimem a dlouhou, mírnou a mírně vlhkou zimou s dlouhou sněhovou pokrývkou (Quitt 1971). V rámci světově používané Köppenovy klasifikace klimatu, která byla pro Česko



podrobně zpracována Tolaszem a kol. (2007), spadá povodí do boreálního klimatu kategorie Dfb s průměrnými teplotami nejteplejšího měsíce nad 10°C a nejchladnějšího měsíce méně než -3°C. Srážky zde v nejvlhčím měsíci převyšují srážky v měsíci nejsušším, ale méně než desetkrát, a srážkový úhrn v nejvlhčím zimním měsíci je menší než trojnásobek úhrnu srážek v nejsušším letním měsíci.

### 3.1.4 Půdní poměry

V okolí Sviňovického a Zbytinského potoka byl v roce 1969 proveden podrobný hydropedologický průzkum pro účely pozdější meliorace (ZPÚ v Praze 1969). Podél obou toků bylo vykopáno a vyhodnoceno celkem 16 sond. Kolem Sviňovického potoka průzkum odhalil přítomnost převážně písčitých a hlinitopísčitých zemín s proměnlivým obsahem šterku. V horních vrstvách profilů byla zjištěna rašelina různých mocností vznikající díky soustavnému zamokření a dlouhému neobhospodařování pozemků. Mocnost nikde nedosáhla 120 cm. Hladina podzemní vody byla ve všech sondách téměř pod povrchem zájmových pozemků.

Nejrozšířenějšími půdními typy v povodí Sviňovického potoka (Obr. 7) jsou kryptopodzol modální a kambizem mesobazická, resp. oglejená mesobazická (AOPK ČR 2005). Kambizemě jsou typické pro nadmořské výšky mezi 450 – 800 m n. m., většinou členitý reliéf, humidnější klima a jde zpravidla o půdy pod původně listnatými lesy (Babůrek a kol. 2006; Tomášek 2003). Kryptopodzoly kopírují spíše hraniční výše položené části povodí, což odpovídá jejich obvyklému výskytu nad 800 m n. m. s chladným a vlhkým klimatem a společenstvy kyselých bučin (Tomášek 2003). V rámci systému bonitovaných půdně ekologických jednotek spadá tato oblast převážně do hlavní půdní jednotky č. 36 (VÚMOP 2005; Vyhláška č. 327/1998 Sb.). Linie Sviňovického potoka je lemována pásem půdních typů se znaky trvalého či dočasného zamokření (kambizemě oglejené, pseudogleje, gleje, organozemě). Ty jsou podle Tomáška (2003) charakteristické právě výskytem v říčních nivách a zamokřených úpadech, a to zejména v pahorkatinách a vrchovinách. Proces vzniku glejových půd je podmíněn trvale vysokou úrovní hladiny podzemní vody, která způsobuje redukci trojmocného železa na dvojmocné, a tudíž změnu zabarvení do zelenavých až modravých odstínů (Tomášek 2003). Výskyt glejů je patrný na erozních březích koryta Sviňovického potoka, na nichž voda odkryla půdní profily až na matečnou horninu (Obr. 8). Organozemě se tvoří v kombinaci silně zvodnělého prostředí a intenzivní akumulace minimálně rozložených rostlinných zbytků (Tomášek 2003). Jejich rozšíření bylo omezeno

melioračními úpravami (viz kapitola 3.2.1). Mapa BPEJ přiřazuje okolí toku spíše výskyt glejů histických, tzn. s rašelinným T horizontem (VÚMOP 2005; Vyhláška č. 327/1998 Sb.).

### 3.1.5 Biogeografie

Zájmové povodí náleží z pohledu přirozené potenciální vegetace do fytogeografické oblasti mezofytika, které je charakteristické výskytem tzv. květnatých bučin čili smíšených horských lesů s buky, jedlemi, smrky, méně potom javory a jilmy (Babůrek a kol. 2006; Neuhäuslová a Moravec 1998). Podle podrobnějšího členění, které uvádí Neuhäuslová a kol. (1998), spadá povodí konkrétně do bučin s kyčelnicí devítilistou (*Dentaria enneaphyllos*). Tyto bučiny jsou tvořeny stromovým patrem, ve kterém převažuje buk (*Fagus sylvatica*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jedle (*Abies alba*) a smrk (*Picea abies*) a bylinným patrem, obvykle souvisle zapojeným. Keřové a mechové patro bývá vyvinuto jen fragmentárně nebo zcela chybí. V současnosti jsou původní květnaté bučiny na celém horním toku Blanice z velké části nahrazeny nepřirozenými jehličnatými formacemi (Vondra 2006), které ovšem výrazně ohrožují výskyt kyčelnice devítilisté, charakteristické rostliny pro původní bučiny (Neuhäuslová a kol. 1998). Pro odlesněná stanoviště mezofytika jsou typické ovsíkové louky a acidofilní pastviny svazu *Violin caninae*, v potočních nivách a v okolí svahových pramenišť komplexy rašelinných luk, pcháčových luk a střídavě vlhkých bezkolencových luk (Albrecht a kol. 2003).

V polovině 19. století se kolem koryta Sviňovického potoka rozkládaly suché louky, na okolních pozemcích pole (role) oddělená travnatými mezemi a remízky, kolem horní části toku jehličnaté lesy středního vzrůstu (Císařské povinné otisky stabilního katastru Čech). Během 20. století došlo v oblasti ke značným úpravám, kterými se v rámci širšího povodí Zbytinského potoka zabýval Hintnaus (2008). Jak je z jeho výzkumu patrné, původně heterogenní krajina zmizela, meze byly rozorány a remízky zničeny. Po druhé světové válce tvořila vysoký podíl plochy orná půda, a to zejména v dolní části dnešního povodí a rovněž jihozápadně od Sviňovic, kde se však rozkládala drobná navzájem oddělená políčka. Z Obr. 9 (rok 1949) je patrné, že koryto potoka mělo ještě původní průběh a hranice dnes vymezeného povodí se od tehdejšího povodí lišila, proto tok vybíhá z vymezené oblasti dříve než při ústí do Zbytinského potoka. V následujících dekádách bylo koryto Sviňovického potoka po celé své délce napřímeno, opevněno betonovými prefabrikáty do jednotného lichoběžníkového profilu (viz kapitola 3.3.1) a v dolní části toku dokonce zcela přemístěno (viz kapitola 5.1) a povodí získalo současné hranice. Pozemky obklopující tok byly odvodněny. V 80. letech již zabírala orná půda celou dolní část povodí od ústí až po hospodářský přejezd TK 60/125,

v okolí Sviňovic ji naopak nahradily louky a pastviny (Obr. 9, rok 1984). Devadesátá léta znamenala razantní ústup orné půdy, která se v roce 1999 nacházela již pouze v okolí soutoku se Zbytinským potokem a v okolí Sviňovic. Na většině území již dominovaly louky a pastviny, v pramenné oblasti toku potom smíšené lesy (Obr. 9, rok 1999). V současnosti se na severozápadních hranicích povodí rozkládají jehličnaté lesy a většina pozemků je využívána jako pastviny pro skot (Obr. 9, rok 2005).

V pramenné oblasti Sviňovického potoka jsou bohatě rozšířeny vzrostlé dřevinné nálety s převažující břízou a olší a občasným výskytem borovice a smrku. Velmi početná populace sasanky hajní (*Anemone nemorosa*; Obr. 12c) v bylinném podrostu je ojediněle doprovázena keříčky lýkovce obecného (*Daphne mezereum*; Obr. 12a). Zpevněné koryto potoka lemuje po obou březích až k hospodářskému přejezdu TK 60/125 poměrně souvislá galeriová vegetace (nálety břízy, olše, smrků). V místech porušené betonové dlažby se nálety dřevin uchytily i v samotném korytě a jsou zde hustě doprovázeny vlhkomilným blatouchem bahenním (*Caltha palustris*). Převážná část tohoto úseku koryta je však bez bylinné vegetace. Na levém břehu přechází nálety dřevin plynule v hospodářský les, na pravém břehu dřevinné a keřové nálety střídají hospodářsky využívané pastviny a vlhké prameniště a rašelinné louky. Okolní lesy jsou kromě sasanek typické výskytem devětsilu bílého (*Petasites alba*) a dřípátky horské (*Soldanella montana*; Obr. 12b).

V okolí revitalizované části Sviňovického potoka byl opakovaně proveden průzkum cévnatých rostlin. Změna druhového složení bylinného patra potvrdila určující roli ohradníků jako hranice mezi potokem a okolní pastvou (Hujšlová 2007). Zjištěn byl výskyt několika biotopů dle Chytrého a kol. (2001):

*a) koryto a břehy potoka:*

M1.5 – Pobřežní vegetace potoků

T1.5 – Vlhké pcháčové louky

X7 – Ruderální bylinná vegetace mimo sídla

X13 – Nelesní stromové výsadby mimo sídla

*b) okolí potoka:*

T1.1 – Mezofilní ovsíkové louky

V korytě a na březích potoka byly zjištěny druhy cévnatých rostlin, jejichž soupis je uveden v Tab. 2.

**Zvláště chráněná území**

V povodí Sviňovického potoka se rozkládají dvě lokality zvláště chráněných území. Chráněná krajinná oblast Šumava vyhlášená výnosem MK č.j. 53855/1963, nově upravena

výnosem MK ČSR č.j. 5954/1975 (Správa CHKO ČR 1997), zasahuje do území z jihu a její hranice probíhá zároveň se silnicí II/165 Zbytiny – Volary (Obr. 3). CHKO Šumava je typická mohutnými horskými hřbety, rozlehlými rašeliništi v pramenných oblastech řek a pánvích a celou řadou ohrožených rostlinných i živočišných druhů (blatnice bahenní, popelivka sibiřská, šídlatka jezerní, sokol stěhovavý, tetřev hlušec, rys ostrovid, los evropský a další) (Správa CHKO ČR 1997). Téměř celá část CHKO v zájmovém povodí náleží III. zóně ochrany, pouze u soutoku se Zbytinským potokem se rozkládá již II. zóna (CENIA 2005b). Do III. zóny CHKO (kulturně-krajinné) bývají zařazeny převážně monokulturní hospodářské lesy, louky, pole a pastviny, které jsou běžně obhospodařovány, plochy s rozptýlenou zástavbou, případně malými sídly, a bohatým zastoupením dřevin rostoucích mimo les (Správa CHKO ČR 1997).

Druhým zvláště chráněným územím je přírodní památka Pod Sviňovicemi vyhlášená v roce 1992 a rozkládající se 400 m jihozápadně od osady Sviňovice, 1,5 km SSV od obce Zbytiny (Albrecht a kol. 2003) (Obr. 3). Chráněné území o výměře 0,90 ha tvoří vlhké pramenišní louky se vzrostlými dřevinnými nálety, s početnými populacemi vzácných rostlinných druhů a mokřadní entomofauny. Albrecht a kol. (2003) uvádí mimo jiné výskyt vzácnějších mechorostů zelenky hvězdčovitě (*Campylium stellatum*), klamonožky bahenní (*Aulacomnium palustre*), bařinatky nažloutlé (*Calliergon stramineum*) a chráněných druhů motýlů batolce duhového (*Apatura iris*) a perleťovce mokřadního (*Procllossiana eunomia*). Na území byl zaznamenán také výskyt vzácného střevlíka *Carabus arcensis*. V současnosti je navrženo posunutí jižní hranice památky cca o 50 m jižněji, aby zahrnovala i plochy cenných rašelinných luk s výskytem chráněných druhů rostlin (Albrechtová 2006).

Pro zájmové území má nemalý význam existence Národní přírodní památky Blanice, ačkoliv do povodí přímo nezasahuje (Obr. 3). NPP Blanice (vyhlášena 1989) zahrnuje část dolního toku Zbytinského potoka a je jedinečná výskytem největší středoevropské populace perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*). Dlouhodobě zde probíhá záchranný program zaměřený na polopřirozené rozmnožování místní populace perlorodky i zbytkových populací z jiných povodí (Albrecht a kol. 2003). Perlorodka říční má zcela specifické požadavky na chemické složení vody, teplotní a fyzikální poměry a složení dnových sedimentů (Albrecht a kol. 2003). Veškeré úpravy na Zbytinském a Sviňovickém potoce jsou proto prováděny s ohledem na její populaci.

### 3.2 Sviňovický potok na historických mapách

Nejstarší zjištěná poloha koryta Sviňovického potoka z dostupných mapových zdrojů odpovídá polovině 19. století. Tehdejší průběh toku byl odvozen z tzv. Císařských povinných otisků stabilního katastru Čech, které byly pořizovány v letech 1824 – 1843 v měřítku 1 : 2 880 (proto v Obr. 24 uvedena linie toku s rokem 1843). Dnešní obec Zbytiny je na těchto mapách pojmenována německým názvem Oberhaid. Otisky jsou barevné, proto je na nich kromě způsobu využití ploch dobře patrný Sviňovický potok i poměrně přímé koryto Zbytinského potoka, které je v obci rozvedeno do dvou ramen. Polohu koryta o zhruba půl století později zachycuje černobílá mapa území obce Zbytiny z roku 1888, která je spolu s císařskými otisky map stabilního katastru vedena v mapovém archivu ČÚZK v Praze. Mapa je rovněž vyhotovena v němčině (Zbytiny označeny jako Oberhaid, Zbytinský potok pod názvem Rafsau Bach), ale vzhledem k černobílému provedení je méně přehledná než císařské otisky. Poloha toku před provedením melioračních úprav je zaznamenána na mapě pozemkového katastru platné do roku 1950 (ČÚZK 2006b). Mapa je i v této době německá tzn. Zbytiny jsou stále nazývány Oberhaid a Zbytinský potok Rafsau Bach. Mapa katastru nemovitostí z roku 1982 (ČÚZK 2006a) již zachycuje linii koryta po provedených melioračních úpravách, a je proto při srovnání se stavem v polovině 19. století klíčovým mapovým dokumentem. Mapa by podle informací zjištěných z katastrálního úřadu v Prachaticích měla být v současnosti stále platná. V případě Zbytinského potoka je v mapě vyznačeno kromě stávajícího koryta i staré rameno potoka známé již z předchozích map. Nedlouho po provedené revitalizaci v roce 2005 (viz kapitola 3.3.2) byla pořizována ortofota povodí horní Blanice, která tak v obrysech zachycují aktuální situaci. Na těchto snímcích lze rozlišit nejen současné koryto potoka, ale částečně také při revitalizaci zasypané staré koryto jižně od silnice II/165. V krajině již v současnosti není patrné druhé napřímené rameno Zbytinského potoka, jak tomu bylo u starších map.

### 3.3 Antropogenní změny Sviňovického potoka

Povodí Sviňovického potoka, ale především přímo jeho koryto, bylo v minulosti výrazně poznamenáno lidskou činností, a to především v souvislosti s rozsáhlými zemědělskými zásahy do krajiny ve druhé polovině 20. století.

### 3.3.1 Meliorace

V únoru 1971 byl zpracován projekt odvodnění pozemků v oblasti Zbytin na Prachaticku, který zahrnoval tři úseky Zbytinského potoka, Sviňovický potok označovaný ve zprávě jako kanál „A“ a další kanály „B“, „C“, „D“, „E“, „F“ (ZVHS Prachatice 1971). Celková délka meliorační kostry byla navržena na 1,852 km. Koryto Sviňovického potoka bylo na úseku dlouhém 1,132 km (od ústí do Zbytinského potoka po hospodářský přejezd TK 60/125) opevněno betonovými prefabrikáty MD III - 50/100/10, MD V - 30/75/10, z nichž byl vytvořen jednotný lichoběžníkový profil se sklonem svahů 1:1,5 (Obr. 13). Do koryta bylo umístěno 12 betonových prahů. Svahy byly kromě prefabrikátů navíc zpevněny drnovými pásy 30 cm širokými a osetím do humusu. V km 0,296 – 0,303 byl navržen hospodářský přejezd TK 80/125. Na základě provedeného hydropedologického průzkumu byl vzhledem k silnému zamokření navržen rozchod sběrných drénů u polních drenáží 12 – 14 m, u lučních 14 – 16 m. Meliorační práce byly dokončeny v roce 1975.

V roce 1977 byl v rámci projektu ZBYTINY III upraven úsek Sviňovického potoka nad hospodářským přejezdem TK 60/125. Z délky 0,685 km bylo 0,495 km opevněno jako otevřené koryto betonovými prefabrikáty do lichoběžníkového tvaru se sklonem svahů 1:1,5 a zbylých 0,19 km bylo krytých.

V roce 1981 byla, na základě technické zprávy z roku 1980 (Baloun 1980), provedena rekonstrukce drenážní sítě na pěti samostatných lokalitách v okolí Zbytin, na kterých se dosavadní odvodnění ukázalo jako nedostatečné nebo neúčinné. Stávající drenáž měla příliš velké rozchody (12 – 16 m), a tudíž nedostatečný odvodňovací účinek. Dalším důvodem rekonstrukce byl špatný stav trubní drenáže. V lokalitě Sviňovického potoka bylo hlavní příčinou nefunkčnosti dosavadního odvodnění zanášení drénů rašelinou. Rekonstrukce drenáže zde měla zajistit přeměnu 4,8 ha neobdělávatelných luk na ornou půdu. Zbylých 8,8 ha plochy mělo být ponecháno jako louky. Odvodnění bylo navrženo ve dvou etapách – v I. etapě výstavba svodných drénů, záchytných drénů, záchytných příkopů a ve II. etapě výstavba sběrných drénů. Po technických úpravách následovaly tradiční agrochemické zásahy (meliorační a udržovací vápnění, podrývání podorniční, hnojení organickými i strojenými hnojivy atd.). Vondra (2006) uvádí, že v celém povodí Zbytinského potoka (9,72 km<sup>2</sup> tzn. 972 ha) bylo po dokončení melioračních úprav ze 70. a 80. let odvodňováno 207 ha zemědělských půd, což činilo 21 % veškeré plochy.

### 3.3.2 Revitalizace

Na jaře roku 2005 byla v povodí Zbytinského potoka provedena revitalizace. Revitalizační projekt byl zadán Zemědělskou vodohospodářskou správou v Českých Budějovicích a zpracován firmou Projekta Tábor, s.r.o (Kohoutek a Tuček 2002). Zahrnoval revitalizaci 0,739 km dlouhé části Zbytinského potoka pod obcí Zbytiny, 1,145 km dlouhého úseku jeho pravostranného přítoku - Sviňovického potoka, odstranění drenáže z okolních pozemků a vytvoření 2 mokřadů s bezpečnostními přelivy. Průzkum zájmového území při zpracování projektu prokázal, že byl provedenými melioračními úpravami radikálně změněn biotop obou toků, potlačen rozvoj vodní fauny a flóry a bylo značně prohloubeno koryto. Cílem stavby proto bylo zejména obnovení základních parametrů potočního biotopu (zvětšení hloubky stálé hladiny vody, snížení rychlosti vody v korytě, vytvoření proudových stínů pro akumulaci splavenin), zvýšení samočisticí schopnosti vody a zpomalení odtoku vody z krajiny.

Sviňovický potok (ve zprávě opět vedený jako kanál „A“) byl revitalizován na úseku od ústí do Zbytinského potoka po propustek u hospodářského přejezdu TK 60/125 tzn. zhruba 1,1 km délky tehdejšího koryta. Po revitalizaci mělo vzniknout koryto s více zákrutami, a tudíž prodloužené na 1,145 km. Prvním krokem úprav bylo odstranění opevnění koryta (Obr. 14). Betonové prefabrikáty byly nahrazeny zpevněním v patkách svahů pomocí kamene ze snosů o velikosti 20 – 50 cm. V km 0,00 – 0,318 a 0,650 – 1,145 byla ponechána trasa původního koryta, v rámci něhož bylo na km 0,100 – 0,180 vyprojektováno oboustranné zpozvolnění svahů do sklonu 1 : 5 (Obr. 15). V km 0,318 – 0,650 bylo navrženo nové koryto lichoběžníkového tvaru o šíři dna 30 cm a jednostranným sklonem svahů 1 : 5 (střídavě) (Obr. 16). Staré koryto bylo rozvolněno a po položení drenážního potrubí na dno zasypáno zeminou a pokryto ornici. Nově vytvořených 20 kamenných prahů v korytě mělo přispět ke zvýšení stability dna a svahů a zlepšení života v toku (nepřevyšují 0,3 m, aby nebránily migraci ryb). Prahy byly navrženy tak, aby se střídala klidná hladina s úseky, kde voda proudí a vytvořilo se tak heterogenní prostředí. Pro rychlejší stabilizaci toku je důležitá existence břehové vegetace, proto byla kolem toku vysázena doprovodná vegetace v nepravidelných skupinách v různé vzdálenosti od sebe (Obr. 15). Druhou skladbu vysázeného porostu tvořily dřeviny domácího původu - olše lepkavá, olše šedá, jasan ztepilý, vrba nachová, bříza bělokorá a vrba popelavá.

Jak uvádí Vondra (2006), délka úprav na Zbytinském potoce a jeho přítocích činila ještě v roce 2004 5,68 km, což znamenalo 62,13% podíl na celkové délce 12,11 km. Do roku 2006 došlo díky revitalizačním úpravám ke snížení tohoto podílu o 15,19 % na 46,94 %.

### **3.3.3 Současná výzkumná činnost v zájmovém území**

Vzhledem k výraznému ovlivnění lidskou činností je toto povodí předmětem zájmu katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK (Kliment a Matoušková 2006; Langhammer a Matoušková 2006; Malý 2006; Vondra 2006; Hintnaus 2008; Langhammer a Sitař 2008). V souvislosti s výskytem chráněné populace perlorodky říční v nedaleké oblasti NPP Blanice probíhá na Zbytinském a Sviňovickém potoce rovněž výzkum VÚV TGM (na dvou profilech Sviňovického potoka měří chemismus).

Vzápětí po provedené revitalizaci na jaře 2005 byl na Sviňovickém potoce zahájen detailní fluviálně-geomorfologický a hydrologický výzkum s cílem sledovat stabilitu a dynamiku vývoje rozvolněného koryta s ohledem na výskyt mimořádných srážko-odtokových událostí (Kliment a kol. 2006). V roce 2006 zařadil Vondra (2006) revitalizovaný úsek Sviňovického potoka do II. ekomorfologického stupně podle metodiky EcoRivHab hodnotící stav a úspěšnost revitalizace. Toto zařazení odůvodnil absencí stromového patra doprovodných vegetačních pásů, extenzivním využíváním nivy, erozním typem příčného profilu s nestabilními břehy a nepříliš vyvinutou strukturou břehové vegetace.



## PŘÍLOHA 1

Obr. 1 Zbytiny při pohledu z jihu (od Svaté Magdalény)

Obr. 2 Poloha povodí Sviňovického potoka

Obr. 3 Přehledná mapa povodí Zbytinského potoka

Obr. 4 Geologická stavba povodí Sviňovického potoka

Obr. 5 Poloha povodí Sviňovického potoka v rámci geomorfologického členění reliéfu Balatky a Kalvody (2006)

Obr. 6 Poloha Sviňovického potoka v rámci říční sítě ČR

Obr. 7 Půdní typy v povodí Sviňovického potoka

Obr. 8 Odkrytý půdní profil u levého břehu koryta Sviňovického potoka (v místě profilu č. 8)

Obr. 9 Využití půdy v současném povodí Sviňovického potoka v letech 1949 - 2005

Obr. 10 Vodní nádrže v blízkosti Sviňovického potoka

Obr. 11 Koryto Sviňovického potoka

Obr. 12 Vegetace v okolí Sviňovického potoka

Obr. 13 Profil koryta po dokončení opevnění toku

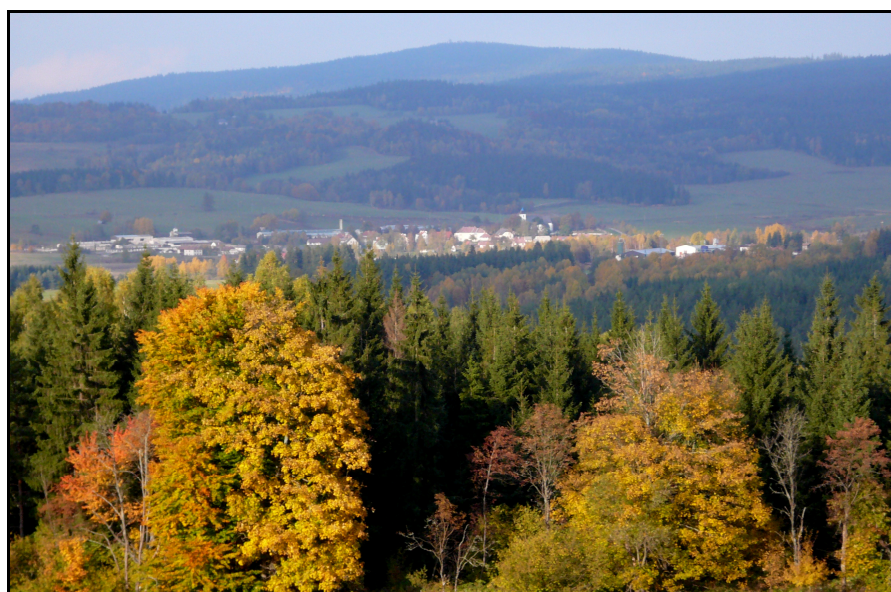
Obr. 14 Odstranění opevnění při revitalizaci na jaře 2005

Obr. 15 Výřez z revitalizačního výkresu s úsekem úpravy svahů

Obr. 16 Schéma úpravy koryta Sviňovického potoka s jednostrannou změnou sklonu svahu na 1 : 5

Tab. 1 Průměrný sklon dna a míra křivolakosti koryta Sviňovického potoka

Tab. 2 Seznam zjištěných druhů cévnatých rostlin v korytě a na březích Sviňovického potoka



**Obr. 1 Zbytiny při pohledu z jihu (od Svaté Magdalény; říjen 2008)**

Foto: Hujslová

## 4 METODIKA A ZDROJE DAT

Předkládaná diplomová práce vychází z řady literárních i mapových podkladů v tištěné i digitální podobě, z nichž některé byly využity již pro účely bakalářské práce (Hujsová 2007).

### 4.1 Datové podklady pro charakteristiku povodí

Při tvorbě map fyzicko-geografických charakteristik byly použity vektorové vrstvy digitální geografické databáze ArcČR 500 1:500 000 (ARCDATA Praha 2003), DMÚ 1:25 000 (VGHÚ 2005), GEOCR 1:50 000 (ČGÚ 2005), BPEJ 1:5 000 (VÚMOP 2005), dále vrstvy A02 – vodní tok (jemné úseky) 1:10 000 (VÚV TGM 2006a) a A08 – hydrologické členění – povodí III. řádu 1:10 000 (VÚV TGM 2006b) volně přístupné na internetových stránkách <http://www.vuv.cz>, Geomorfologické členění ČR 1:50 000 (CENIA 2005a) a ZCHÚ ČR 1:100 000 (CENIA 2005b) přístupné na internetových stránkách <http://www.geoportal.cenia.cz>. Z webových stránek <http://www.nature.cz/monitoring-pud/> byla stažena a pro zájmové území vektorizována digitální verze mapového listu 32 - 12 Volary Půdní mapy ČR v měřítku 1:50 000 (AOPK ČR 2005). Veškeré mapy byly s použitím těchto dat vytvořeny v programu ArcMap v souřadném systému S-JTSK. Hranice povodí Sviňovického potoka byla vymezena na základě podrobné sítě vrstevnic a hydrografické parametry povodí a toku byly odvozeny z map, popř. terénních měření (míra křivolakosti, sklon, délky, vodní stavy). Charakteristika způsobů využití území vychází z materiálů poskytnutých z bakalářské práce Hintnause (2008), z georeferencovaných ortofot území horní Blanice (ČÚZK 2005) a okopírované části Císařských povinných otisků stabilního katastru Čech. Legenda k císařským otiskům byla získána na internetových stránkách archivu ČÚZK (ČÚZK 2006c). K popisu antropogenního vlivu v povodí sloužily veřejně nepublikované materiály ZVHS v Prachaticích týkající se melioračních a revitalizačních úprav v zájmovém území (Baloun 1980; Kohoutek a Tuček 2002; ZPÚ v Praze 1969; ZVHS Prachatice 1971).

### 4.2 Metody sledování dynamiky toku

Zachycení dlouhodobějšího vývoje i současných trendů v dynamice koryta Sviňovického potoka si vyžádalo aplikaci jak přímého pozorování a terénních metod, tak metod historických, fotogrammetrických či statistických.

#### 4.2.1 Historické metody

Pomocí získaných historických map bylo možné určit změny koryta toku za uplynulých více než 150 let. Analýza historického vývoje vychází konkrétně z katastrálních map obce Zbytiny v rastrové podobě získaných z pobočky ČÚZK v Prachaticích (ČÚZK 2006a, ČÚZK 2006b), okopírované části Císařských povinných otisků stabilního katastru Čech a mapy území obce Zbytiny z roku 1888 z mapového archivu ČÚZK Praha a materiálů ZVHS v Prachaticích, které se týkají melioračních a revitalizačních úprav v zájmovém území (Baloun 1980; Kohoutek a Tuček 2002; ZVHS Prachatice 1971).

Odhalení specifických změn ve vývoji koryta vyžadovalo vytvoření vektorové vrstvy obsahující linie toku v různých letech srovnávaného období. Okopírované mapy z mapového archivu ČÚZK v Praze a ZVHS v Prachaticích byly proto naskenovány a upraveny v programu Adobe Photoshop 6.0 CE. Poté byly společně s katastrálními mapami z ČÚZK georeferencovány v programu ArcMap do souřadného systému S-JTSK. Pro georeferencování byla použita vektorová data DMÚ 1:25 000 (VGHÚ 2005). Po úpravě mapových podkladů mohly být vektorizovány linie Sviňovického potoka a části Zbytinského potoka v pěti srovnávaných letech - 1843, 1888, 1950, 1982, 2005. Pro následné vyhodnocení byly vypočteny délky sledovaného úseku v jednotlivých letech (Tab. 5).

#### 4.2.2 Terénní měření a jeho zpracování

Hodnocení současné dynamiky je založené na datech z terénních geodetických měření prováděných pomocí totální stanice Leica ve spolupráci se členy katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze (Obr. 17). Od června 2005 je na Sviňovickém potoce pravidelně prováděno měření deseti vytypovaných příčných profilů (1 – 10) a od října 2005 také podélného profilu, a to na úseku od hospodářského přejezdu TK 60/125 k hospodářskému přejezdu TK 80/125, na němž byla provedena revitalizace (Tab. 3; Tab. 4). Na jaře 2006 byl monitoring doplněn o další dva příčné profily (N1 a N7). Nad silničním mostem je monitorováno 7 profilů (1 – 6, N1), pod mostem je měřeno zbylých 5 profilů (7 – 10, N7) (Obr. 18). V letech 2005 – 2007 bylo měření prováděno dvakrát ročně, na jaře a na podzim (v roce 2005 až v červnu), v době nízkých vodních stavů (Obr. 25). S ohledem na relativní stabilizaci koryta jsou od roku 2008 profily zaměřovány pouze v jarním období. Na jaře 2009 bylo geodeticky zaměřeno koryto potoka mimo pravidelně sledovaný úsek, tzn. od hospodářského přejezdu TK 60/125 proti proudu až do blízkosti PP Pod Sviňovicemi a na dolním toku od hospodářského přejezdu TK 80/125 až k ústí do Zbytinského potoka.

Současně je od počátku sledování prováděna detailní fotodokumentace vývoje koryta a jeho okolí.

Data získaná při geodetických měření byla zpracovávána v programech ArcMap a Microsoft Excel. U každého změřeného profilu byla podle metodiky Westerna a kol. (1997) stanovena horní hranice plnoprůtočného profilu. Pomocí vykreslených profilů v programech ArcMap a Microsoft Excel byl u každého jednoho profilu určen takový bod na jednom z břehů, kde dochází k výraznému snížení sklonu břehu, a tak se při jeho překročení voda znatelně rozlévá do okolí. Následně byly v uvedených programech změřeny, popř. vypočteny jednotlivé parametry profilů - šířka  $W_{bkf}$ , maximální hloubka  $D_{bkf}$  (resp.  $Z_{bkf}$ ), plocha profilu  $A_{bkf}$ , průměrná hloubka  $d_{bkf}$  určená poměrem plochy  $A_{bkf}$  a šířky  $W_{bkf}$ , omočený obvod  $WP_{bkf}$ , hydraulický rádius  $R_{bkf}$  vyjadřující poměr mezi plochou profilu  $A_{bkf}$  a omočeným obvodem  $WP_{bkf}$  (Rosgen 1996) a thalweg (nadmořská výška dna v místě maximální hloubky) (Obr. 19). Pro popis tvaru příčných profilů byly vypočteny hodnoty parametrů  $\omega$ , a to jak pro poměr šířky  $W_{bkf}$  a průměrné hloubky  $d_{bkf}$  (Gilvear a Bravard 1996), tak pro výpočet pracující s maximální hloubkou  $D_{bkf}$  (Harnischmacher 2007; Western a kol. 1997), *faktor tvaru* (Fahnestock 1963) a parametr  $\psi$ , používaný Westernem a kol. (1997). Pro všechny profily z roku 2006 a jaro 2009 byl odvozen parametr určující vertikální polohu profilů  $E$ , který popisují Western a kol. (1997) (Obr. 19). Změřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8. Podrobnost měření podélného profilu se od roku 2005 zvýšila, proto byly body při zpracování srovnávacího grafu redukovány podle měření z podzimu 2006. Na základě měření podélných profilů byly kromě linie maximální hloubky v korytě (thalwegu) a parametru  $E$  vypočteny míra křivolakosti a průměrný sklon koryta pro čtyři specifické části toku – celý úsek od ústí po silniční most, zvláště pro dolní část revitalizovaného úseku od propustku 80/125 k mostu, od silničního mostu k propustku pod hospodářským přejezdem TK 60/125 a nad tímto přejezdem, kde je koryto stále zregulované (Tab. 2; Tab. 7). Míru křivolakosti toku vyjadřuje poměr mezi délkou vodního toku a délkou údolnice (Rosgen 1996). Pro sledovaný tok byla určena poměrem délky osy toku na vymezených úsecích, které odpovídá napřímená linie regulovaného koryta, a skutečné délky toku geodeticky zaměřované při terénním monitoringu. Průměrný sklon koryta byl vypočten jako podíl výškového rozdílu počátečního a konečného bodu úseku a délky tohoto úseku koryta (Harrelson a kol. 1994; Harnischmacher 2007).

### 4.2.3 Fotogrammetrické metody

Jako alternativní metoda ke geodetickému zaměřování příčných a podélných profilů bylo provedeno nasnímkování lokality z nízkoletícího modelu letadla (v letech 2006 a 2008) a helikoptéry (v roce 2007) firmou Aerodata, s.r.o. (Obr. 20). Cílem snímkování bylo detailně zmonitorovat vývoj břehů, akumulčních a erozních tvarů po celé délce sledovaného úseku, a to jak v poloze, tak ve výšce. Všechna snímkování byla provedena v úplném počátku vegetačního období, tzn. v dubnu, resp. na začátku května, kdy koryto a jeho okolí ještě nezakrývá bujná vegetace. Pro snímkování byla použita běžně dostupná kamera Olympus SP-350 umístěná v pevném závěsu pod nosičem. V roce 2006 sloužil jako nosič radiově řízený model letadla a snímkování bylo provedeno zhruba z výšek 70 a 110 metrů. Kvůli problémům s udržením modelu nad osou koryta toku bylo v následujícím roce výrobcem a vlastníkem letadla navrženo využít model helikoptéry. Pro postižení větších detailů byla zároveň snížena výška letu na 30 m. Helikoptérou pořízené snímky se bohužel při zpracování ukázaly nevhodné, v mnoha případech značně rozostřené a především minimálně se překrývající, což znemožnilo jejich transformaci do souřadného systému. Proto byl v roce 2008 opětovně využit model letadla a snímkování z původních výšek.

Vzhledem k velkému počtu snímků (z každého snímkování řádově stovky) byl nejprve proveden výběr snímků vhodných k dalšímu zpracování, tzn. nepřilíš rozdílného měřítka a vzájemně se překrývající. Kvůli zkreslení bylo rovněž potřeba použít pouze takové snímky, kde koryto potoka prochází zhruba středem snímku. Následně byly snímky Ing. Potůčkovou transformovány do souřadnicového systému S-JTSK pomocí projektivní transformace programu MicroStation V8 a jeho nadstavby Descartes (Kliment a kol. 2008).

Do souřadnic transformované snímky již mohly být použity pro vektorizaci požadovaných objektů potřebnou k následné morfologické interpretaci (Obr. 21). Zpracování bylo prováděno v programu ArcMap. Identifikovány byly objekty liniové, plošné i bodové. Vektorizovány byly dvě bodové vrstvy - vyústění drenáží z okolních ploch do koryta, patrná díky znatelně bujnější vegetaci, a studny, které leží v bezprostředním okolí koryta. Klíčovým krokem bylo vymezení koryta potoka. Při předchozí složité úpravě snímků došlo u většiny ke zhoršení jejich kvality (ve smyslu rozostření), a proto bylo obtížné požadovanou linii stanovit. V rámci koryta, resp. jeho břehů, byly proto rozlišeny čtyři liniové objekty – okraj aktivního šelfu, břehová trhlina, nátrž a nespecifikované rozhraní. Okrajem aktivního šelfu bylo stanoveno rozhraní mezi vodní hladinou a břehy koryta. Z vnějšíku linie ohraničuje identifikované akumulční útvary a vegetaci v korytě. Břehové trhliny představují výrazné

liniové útvary podél břehových hran, které potenciálně hrozí rozšířením, odtržením okraje břehu a vytvořením nátrže. Zpravidla byly objeveny právě v těsné blízkosti již existujících nátrží. Nátržemi byly nazvány výrazné břehové hrany shora lemující podemleté břehy ve výšce více než 30 cm nad patkou svahů. Zvláštní kategorií jsou linie označené jako nespecifikovaná rozhraní. Zahrnují liniové útvary, které jsou na rozostřených snímcích rozeznatelné, ale těžko identifikovatelné a mohou znázorňovat iniciální stádia tvořících se trhlin, horní hranu sesutého břehu či dosah povodňových stavů. Plošných prvků (tzn. jako polygony) byla vymezena celá řada – velké kameny, akumulace, vegetace v korytě, utržený břeh, opevňující kamenivo. Jako akumulace bylo možné vektorizovat pouze rozsáhlejší sedimentární útvary ve stanovených okrajích aktivního šelfu viditelné nad vodní hladinou případně ležící těsně pod ní. Stejně tak byla zakreslena vegetace v korytě, která zasahovala těsně pod hladinu nebo vyrůstala nad ní. Pod mnohými nátržemi byly identifikovány utržené břehy, masy zeminy a vegetace po odtržení podemletých břehů. V roce 2008 byl ze snímků vyznačen také plošný prvek označený jako opevňující kamenivo, lomový kámen použitý k zasypání erodovaných břehů a vymletého dna v horní části snímkaného úseku.

#### **4.2.4 Doplnkové metody**

Od 1. 6. 2006 je katedrou fyzické geografie a geoeekologie PřF UK v Praze prováděn kontinuální monitoring vodních stavů na Sviňovickém potoce v profilu pod silničním mostem (Obr. 22). Z řad vodních stavů zaznamenávaných v desetiminutových intervalech byla pro posledních pět měsíců hydrologického roku 2006 a hydrologické roky 2007 – 2009 stanovena denní maxima vodních stavů (Obr. 25). Chybějící údaje způsobené výpadky nebo chybou měřících přístrojů byly odvozeny regresními vztahy pomocí vodních stavů monitorovaných na nedalekém přítoku Zbytinského potoka. Pro nejvyšší zaznamenaný vodní stav (12. 7. 2006) byla vypočtena rozloha odpovídající průtočné plochy. Za předpokladu minimálních rozdílů v rychlostech proudění u jednotlivých profilů byla tato plocha vymezena v zaměřených profilech z jara 2006 (tzn. před nejvyššími průtoky) a 2009 (tzn. do současné situace). V dubnu 2009 byly odebrány vzorky dnových sedimentů pro zrnitostní analýzu, šest vzorků na sledovaném úseku a jeden vzorek v pramenné oblasti Sviňovického potoka (Obr. 23). Vzorky č. 1, 4, 6 a 7 náleží dnovým akumulacím v centrální části koryta, vzorky č. 2, 3 a 5 reprezentují dnové akumulace podél pravého (č. 2 a 3), resp. levého břehu (č. 5). Vysušené vzorky sedimentů byly síťovou metodou rozděleny na jednotlivé zrnitostní frakce a dílčí frakce následně zváženy. Použita byla síť se čtvercovými oky o délce strany 32, 16, 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 a 0,063 mm. Na základě hmotnostních podílů jednotlivých frakcí na celkové

hmotnosti vzorku byly pro všechny vzorky sestrojeny křivky zrnitosti. Křivka zrnitosti je součtová čára vyjadřující, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna v milimetrech (Svoboda a kol. 1983). Vodorovná osa grafu udává v logaritmické stupnici průměr zrn v milimetrech, na svislou osu se vynáší obsah zrn v procentech celkové hmotnosti suchého vzorku. V letech 2007 a 2008 byl rovněž proveden ve spolupráci s Ing. Pelcem průzkum cévnatých rostlin v korytě a na březích Sviňovického potoka (Tab. 2).

### **4.3 Seznam zkratk použitých v diplomové práci**

AOPK ČR – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky  
BPEJ – Bonitované půdně ekologické jednotky  
CENIA – Česká informační agentura životního prostředí  
ČGÚ – Český geologický ústav  
ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální  
DMÚ – Digitální model území  
CHKO – Chráněná krajinná oblast  
CHOPAV – Chráněná oblast přirozené akumulace vod  
NKÚ – Nejvyšší kontrolní úřad  
NPP – Národní přírodní památka  
ORP – Obec s rozšířenou působností  
PP – Přírodní památka  
PRŘS – Program revitalizace říčních systémů  
S-JTSK – souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální  
VGÚ – Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad  
VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy  
VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka  
ZCHÚ ČR - Zvláště chráněná území ČR  
ZPÚ – Zemědělský projektový ústav  
ZVHS – Zemědělská vodohospodářská správa

## PŘÍLOHA 2

Obr. 17 Měření příčného profilu 9

Obr. 18 Poloha a tvar sledovaných příčných profilů

Obr. 19 Parametry velikosti a vertikální polohy příčných profilů

Obr. 20 Modely letadla a helikoptéry použité při snímkování

Obr. 21 Vektorizace snímků z jara 2006 v ArcMap

Obr. 22 Profil kontinuálního měření vodních stavů na Sviňovickém potoce

Obr. 23 Lokalizace odběrů vzorků pro zrnitostní analýzu

Tab. 3 Přehled terénních geodetických měření na Sviňovickém potoce

Tab. 4 Seznam geodetických bodů vymezujících příčné profily na Sviňovickém potoce



**Obr. 17 Měření příčného profilu 9 (duben 2008)**

Foto: Hujšlová



## 5 VÝSLEDKY

Cílem této diplomové práce bylo sledovat a vyhodnotit dynamiku koryta Sviňovického potoka, který byl v minulosti podroben zásadním antropogenním zásahům v podobě regulačních a melioračních opatření a následné částečné revitalizaci. Výzkum byl zaměřen na více než 800 metrů dlouhý úsek potoka, na němž bylo koryto při revitalizaci provedené na jaře 2005 rozvolněno, a tudíž mu byl umožněn samovolný vývoj.

### 5.1 Historické změny trasy koryta

Antropogenní zásahy provedené v povodí Sviňovického potoka, které byly podrobně popsány v kapitole 3.3, znamenaly zásadní změnu v charakteru toku, poloze jeho koryta i v samotném vymezení povodí. Původní polohu potočního koryta a její následné změny byly zjištěny srovnáním mapových podkladů z různých časových období, které bylo provedeno již v rámci bakalářské práce (Hujslová 2007), na kterou tato diplomová práce bezprostředně navazuje. Výzkum byl zaměřen na úsek od ústí do Zbytinského potoka po propustek u hospodářského přejezdu TK 60/125, ke kterému byla prováděna revitalizace na jaře 2005 (vyznačen na Obr. 18). Koryto toku nad tímto přejezdem zůstalo opevněno betonovými prefabrikáty ze 70. let (viz kapitola 3.3.2).

Obrázek 23 znázorňuje linie Sviňovického potoka a části Zbytinského potoka s vyznačeným soutokem z pěti různých časových období. Linie koryta Sviňovického potoka v letech 1843, 1888 a 1950 se téměř nemění. Probíhá nejprve jihozápadním směrem, zhruba 180 m severně od silnice se stáčí k jihu a přibližně 100 m za silnicí se opět stáčí, ale tentokrát na JJV. Do Zbytinského potoka ústí na okraji obce Zbytiny. Tok má na celém sledovaném úseku přirozený charakter s mírnými zákrutami, jejichž pozvolné posouvání se odráží v drobných rozdílech v průběhu koryta ve spodní části toku.

Zásadní změna polohy Sviňovického potoka je patrná v roce 1982. Při melioračních úpravách v předchozí dekádě byl charakter toku od základů změněn (viz kapitola 3.3.1). V horní části sledovaného úseku (mezi hospodářským přejezdem TK 60/125 a silnicí II/165 Zbytiny – Volary) bylo betonové koryto vybudováno v trase blízké původnímu toku, ale drobné zákruty byly potlačeny a místo ohybu koryta, kde se stáčí od jihozápadu k jihu, bylo posunuto o několik metrů proti proudu. Délka toku byla na tomto úseku zkrácena z přibližně 495,7 m na 477,5 m (Tab. 5). V dolní části toku (mezi silnicí II/165 a ústím do Zbytinského potoka) však došlo k radikálním změnám. Původní koryto, které se za silnicí stáčelo směrem na JJV, bylo nahrazeno novým přímým betonovým korytem o lichoběžníkovém profilu

směřujícím nejprve k jihu a na posledních zhruba 200 m bylo dokonce stočeno ještě na JJZ. Ústí do Zbytinského potoka tak bylo posunuto zhruba o 290 m po proudu do větší vzdálenosti od intravilánu obce. Vytvořením nového koryta došlo k prodloužení délky spodního úseku z cca 571,4 m na 624,8 m (Tab. 5). Trasa odtoku se však významně zkrátila. Zatímco po melioraci se délka trasy odtékající vody od silničního mostu k ústí rovnala 624,8 m, v roce 1843 činila celá trasa odtoku od silničního mostu do místa dnešního ústí přibližně 860 m, tzn. 571 m v rámci Sviňovického potoka a dalších zhruba 289 m již ve Zbytinském potoce. Celkově tak bylo na úseku Sviňovického potoka od ústí k propustku pod přejezdem TK 60/125 melioračními úpravami koryto prodlouženo o cca 35 m, tj. o 3,3 % původní délky, ale délka odtoku do místa nového ústí se zkrátila o 254 m, tj. o 18,7 % oproti roku 1843.

Bezprostřední efekt revitalizace na trasu koryta Sviňovického potoka byl velice malý. Linie toku se po této úpravě liší jen mírně od trasy betonového koryta. Větší rozdíly jsou patrné na úseku dlouhém zhruba 200 m jižně od silnice II/165, kde bylo vytvořeno zcela nové koryto se zákrutami (viz kapitola 3.3.2). Rozvolněním koryta a vytvořením větších či menších zákrut došlo k prodloužení toku zhruba o 13 m na horním úseku (od propustku u hospodářského přejezdu TK 60/125 k silnici II/165) a o 17 m na úseku dolním (od silnice II/165 k ústí do Zbytinského potoka), tedy přibližně o 2,7 % oproti délce v roce 1982 (Tab. 5).

Po realizaci všech úprav, tzn. meliorací i revitalizaci, byl sledovaný úsek Sviňovického potoka vůči stavu v roce 1843 prodloužen o cca 65 m, tj. o 6,1 %. Celková délka odtoku se však ve srovnání s rokem 1843 zkrátila o 224 m, tj. o 16,5 %.

## **5.2 Současná dynamika koryta**

Čtyři roky trvající průběžný monitoring dokumentuje dynamický vývoj rozvolněného koryta Sviňovického potoka po revitalizaci provedené v roce 2005. Místy mohutně se projevující boční i hloubková eroze si vyžádala dokonce opětovný zásah člověka do struktury koryta. Úseky intenzivní eroze na druhou stranu střídají úseky výrazné akumulace, kde je koryto prakticky zcela zaneseno sedimenty a dochází k jeho výraznému rozšiřování.

### **5.2.1 Změny příčných profilů**

Během prvního půlroku po provedené revitalizaci převažovalo na všech sledovaných profilech (1 – 10) mírné až střední zahlubování čerstvě rozvolněného koryta (do 20 cm). Do jara 2006 však došlo k určité stabilizaci koryta, ustálení hloubek a jen mírnému rozšiřování profilů u dna (maximálně 20 cm) (Kliment a kol. 2006). Během léta 2006 proběhlo několik

významných srážko-odtokových událostí. V profilu pod silničním mostem byl 12. července 2006 zaznamenán dosud nejvyšší naměřený vodní stav, 589 mm, kterému předcházelo a následovalo ho několik dní zvýšených vodních stavů (Obr. 25). U zaměřených profilů 1 a 2 přesáhla plocha odpovídající maximálnímu vodnímu stavu plochu stanoveného plnoprůtočného profilu (Obr. 26). Ve vazbě na tyto události došlo do podzimu 2006 v korytě k velmi výrazným změnám. V některých místech bylo koryto zahlobeno až o 30 cm (profil 1; Obr. 28a), boční eroze rozšířila některé sledované profily až o 1 m (profil 4; Obr. 28e). Některé profily byly naopak zaneseny vrstvou sedimentů o mocnosti až 30 cm a dostaly se tak zpět na úroveň z června 2005 nebo dokonce výše (profil 10; Obr. 28l). Do jara 2009, ke kterému se vztahuje poslední měření příčných profilů, nebyla zaznamenána obdobně výrazná srážko-odtoková událost, což se odrazilo v relativním ustálení profilů. Při současné velikosti příčných profilů by plocha odpovídající uvedenému nejvyššímu stavu nepřekročila horní hranici žádného z profilů (Obr. 26).

Ze sledovaného období čtyř let je patrný trend zvětšování kapacity koryta, a to jak ve smyslu rozšiřování, tak i prohlubování. Průměrná šířka v celém období monitorovaných profilů 1 – 10 vzrostla od června 2005 do května 2009 z 3,38 m na 4,62 m (Tab. 6). Rozpětí šířek vymezených plnoprůtočných profilů se přitom změnilo z 1,3 – 6,09 m (nejužší profil 2, nejširší profil 10) na 3,27 – 7,94 m (nejužší profil 8, nejširší profil 10) (Obr. 27). Posun maximálních hloubek profilů z 0,3 – 0,81 m v červnu 2005 na 0,53 – 0,94 m v květnu 2009 znamenal zvýšení průměrné maximální hloubky z 0,57 m na 0,74 m (Tab. 6). Ještě výraznější jsou nárůsty průtočných ploch profilů. Zatímco v červnu 2005 měl nejmenší profil 2 plochu 0,29 m<sup>2</sup>, v roce 2009 činila u nejmenšího profilu 3 plocha již 1,26 m<sup>2</sup>, tedy zhruba čtyřikrát více, a průměrná plocha vzrostla z 1,2 m<sup>2</sup> na 1,9 m<sup>2</sup> (Tab. 6). Došlo rovněž ke zvýšení hodnot omočeného obvodu jednotlivých profilů (Tab. 8). V červnu 2005 se tento ukazatel pohyboval mezi 1,57 (profil 2) a 6,39 (profil 10). V roce 2009 byl nejmenší omočený obvod 3,81 u profilu 8 a největší 8,00 u profilu 10. Vypočtené parametry týkající se tvaru příčných profilů dokazují, že vedle zvětšování dochází rovněž k pozvolné změně podoby profilů (Obr. 29). Při prvním měření měla většina profilů v zásadě parabolický tvar (faktor tvaru okolo 1,5), přičemž několik z nich se přibližovalo podobě obdélníku (faktor tvaru  $i\psi$  se blíží 1; profily 2, 5, 1; Tab. 8). Pouze dva profily měly trojúhelníkový půdorys (faktor tvaru okolo 2,  $\psi$  okolo 0,5; profily 7 a 10). Během čtyř let náznaky obdélníkového tvaru zmizely ze všech sledovaných profilů a jednoznačně převažuje tendence utváření trojúhelníkové podoby (Obr. 29). Směřování k trojúhelníkovému příčnému profilu koresponduje se zjištěným rozšiřováním

v úrovni plnopřůtočného koryta a naopak zužováním koryta u dna, které dokumentuje malá šířka vodní hladiny v době nízkých průtoků při terénních měřeních.

Největší změny jsou za sledované období patrné na profilech v horní části úseku (1, N1 a 2) (Obr. 29). Došlo k jejich výraznému rozšíření i prohloubení (Tab. 8). U profilu 1 došlo po letní povodni 2006 k prohloubení dna o více než 30 cm, takže maximální hloubka dosáhla již téměř 1 m (Obr. 28a). Kontinuální rozšiřování profilu od počátku měření znamenalo nárůst šířky z 1,83 m na více než 3,5 m na jaře 2009. Celková plocha tak vzrostla na více než čtyřnásobek stavu z června 2005. Šířka profilu 2 pak vzrostla dokonce z 1,3 m na 3,64 m a jeho plocha šestkrát (Tab. 8; Obr. 29). Profil N1 (Obr. 28b) byl stejně jako níže položené profily 4 a 5 (Obr. 28e, f) postižen opětovnou úpravou na konci roku 2007. K erozním břehům a ojediněle i na dno koryta byl při zásahu nasypán lomový kámen o průměru až 30 cm, na druhou stranu byly na řadě míst protější zpevněné břehové svahy uměle shlazeny (např. u profilu 4). Pohoz byl proveden pouze v horní části revitalizovaného úseku nad silnicí II/165. Právě profil 4 vykazoval nejznatelnější změny po povodňových situacích v létě 2006. Zatímco levý břeh postihla velice intenzivní eroze a ústup až o 1 m, u pravého břehu byl erodovaný a transportovaný materiál naopak sedimentován a vznikla zde boční akumulace o mocnosti téměř 40 cm (Obr. 28e). Ačkoliv byl profil během následujícího roku do určité míry stabilizován, bylo ke konci roku 2007 k levému břehu i na dno nasypáno opevňující kamenivo a pravý břeh byl zarovnán. Intenzivní hloubková eroze naopak významně zasáhla příčný profil 7 umístěný nedaleko po proudu pod silničním mostem. Ačkoliv zahlubování bylo patrné již od počátků monitoringu (20 cm do léta 2006), v létě 2006 bylo dno prohloubeno o dalších 20 cm (Obr. 28h). Šířka se u tohoto profilu mění na rozdíl od ostatních jen velice nepatrně (Obr. 27). Postupné rozšiřování a zanášení probíhá od léta 2006 u sledovaného profilu 10 (Obr. 27, Obr. 28i). Tento profil je ve srovnání s ostatními zdaleka nejširší (7,94 m v roce 2009), a to po celou dobu sledování, v současnosti má nejnížší průměrnou hloubku (0,28 m) a druhou nejnížší maximální hloubku (0,56 m). Parametr  $\omega$  naopak dosahuje nesrovnatelně nejvyšších hodnot (27,87 pro  $W_{bkf} / d_{bkf}$  před druhou nejvyšší hodnotou 13,16 u profilu 6; 14,07 pro  $W_{bkf} / D_{bkf}$  před druhým profilem 3 s hodnotou 7,68). Grafy příčných profilů jsou vykresleny v Obr. 28a-l. Hodnoty odvozených parametrů pro jednotlivé profily jsou uvedeny v Tab. 8.

### 5.2.2 Změny podélného profilu

Podélný profil sledovaného úseku potoka vykazuje rovněž zřetelné změny (Obr. 31). Při srovnání s linií dna získanou z revitalizačního projektu (Kohoutek a Tuček 2002) je

zřejmé zahloubení koryta během prvního roku od revitalizace. Téměř po celé délce dosahuje řádově jednotek až několika málo desítek centimetrů. Výjimkou je úsek v části toku pod silničním mostem, tj. mezi profily 7 a 10, kde činí rozdíl dna mezi vyprojektovaným korytem a úrovní z jara 2006 místy téměř 1 m. Celé koryto, ale zejména v úseku pod mostem, bylo pravděpodobně během revitalizačních prací zahloubeno více, než bylo v projektu plánováno. Povodňová událost v létě 2006 se odrazila v tehdy poměrně stabilizovaném korytě vytvořením akumulačních a erozních úseků, jejichž rozložení bylo zachováno dodnes. Dlouhé erozní úseky, v nichž bylo koryto od jara 2006 zahloubeno, se vytvořily mezi profilem 1, resp. již od propustku pod hospodářských přejezdem TK 60/125, a N1 a dále v dolní části toku mezi profily 7 a 8. V některých místech dosáhl rozdíl v úrovni dna koryta až 50 cm (erozní úsek mezi profily 1 a N1). Naopak akumulační úseky, kde došlo od jara 2006 ke zvýšení dna, jsou před profilem 3 a především mezi profily 5 a 6 a na dolním toku mezi profilem 10 a propustkem pod hospodářským přejezdem TK 80/125. Výška dna koryta zde dosáhla úrovně odpovídající dnu koryta v roce 2005 nebo ji dokonce překročila. Podrobnějšími geodetickými měřeními v letech 2008 a 2009 byly zaznamenány četné změny podélného profilu v podobě zahloubení v místech utvářejících se tůní. Střídání tůní a mělčin je na podélném profilu patrné zejména v úseku mezi silnicí a profilem 8 (Obr. 32). Průměrný sklon koryta celého sledovaného úseku se během sledování snížil zcela nepatrně – z 2,46 % v roce 2005 na 2,41 % v roce 2009, a to především v krátkém období mezi jarem a podzimem 2006 (Tab. 7). Od podzimu 2006 se sklonové poměry koryta prakticky nezměnily (z 2,42 % na 2,41 %). V úseku nad silničním mostem se průměrný sklon koryta pohybuje po celou dobu sledování mezi 2,55 – 2,6 % (Tab. 7). Drobnější změny korespondují s výše zmíněným vysypáním břehů a dna koryta opevňujícím kamenivem na konci roku 2007. Výraznější vývoj je patrný na úseku pod silničním mostem. Průměrný sklon koryta se zde snížil z 2,34 % v roce 2005 na 2,18 % v roce 2009. V této části toku dochází ke zmenšování výškového rozdílu a prodlužování koryta (Tab. 7).

Změny vertikální polohy studovaného úseku a rozdíly mezi jeho horní a dolní částí, které odděluje silniční most, jsou patrné také při použití parametru E, který využívají Western a kol. (1997). Odchylka od tzv. očekávané úrovně thalwegu E se v horní části úseku s výjimkou profilů 1 a 6 pohybovala ve srovnávaných letech 2006 a 2009 v záporných hodnotách (Tab. 8). Reálná úroveň thalwegu je tedy na většině délky pod očekávanou výškou. Profily 7 – 10 reprezentující dolní část toku dosahují kladných, ale s výjimkou profilu 10 velice nízkých hodnot E, které ve srovnávaných letech spíše kolísají kolem 0. Dno koryta se v těchto profilech jen minimálně odchyluje od očekávané teoretické úrovně. Vysoké kladné

hodnoty E u profilů 6 a 10 odpovídají jejich spíše akumulárnímu charakteru s úrovní dna nad očekávaným thalwegem a malou hloubkou koryta. Záporné hodnoty E u profilů 2 a 4 korespondují s převažující erozní činností v úseku jejich polohy. Profil 3 vykazuje ze všech profilů největší zápornou odchylku E. V rámci vertikální polohy v podélném profilu je stále výrazně pod teoretickou úrovní thalwegu, ale srovnání stavu z jara 2006 a 2009 nasvědčuje pozvolnému vývoji směrem k očekávanému thalwegu. Koryto se v profilu zanáší a odchylka E se pozvolna přibližuje 0.

### 5.2.3 Změny půdorysu

Celková poloha koryta se mění velice pozvolně. Při srovnání se stavem z podzimu 2005 se koryto v horní části monitorovaného úseku jen místy odchýlilo od přímého průběhu. V úseku jižně od silnice je zřejmé prodlužování zákrutů (Obr. 33). Míra křivolakosti se od podzimu 2005 do jara 2009 mírně zvýšila, a to jak v úseku nad silničním mostem (z 1,003 na 1,02), tak pod ním (z 1,028 na 1,082). Míra křivolakosti celého monitorovaného úseku se zvýšila z 1,013 v roce 2005 na 1,044 v roce 2009. Přesto se průběh zatím liší od stavu v roce 2005 jen minimálně (Tab. 7).

Půdorysný tvar koryta se během sledovaného období změnil zejména v detailním pohledu, který zachytila provedená snímkováni z modelu letadla. V úseku nad silničním mostem se vyvinuly v podstatě dva dlouhé erozní úseky a dva úseky akumulární. Mezi propustkem hospodářského přejezdu TK 60/125 a profilem 2 se v rozmezí srovnávaných let 2006 a 2008 intenzivně projevila erozní činnost vody (Obr. 34a-c; Obr. 37). Rozsáhlé nátrže až o výškách přes 100 cm, které nebyly ani v podobě začínajících trhlin patrné na starších snímcích, se vytvořily téměř na celém úseku. Nátržové hrany zůstaly viditelné i přes posyp lomovým kamenem, který byl na konci roku 2007 proveden. Intenzivní boční i hloubkovou erozí byla vytvořena především rozsáhlá tůň přímo u propustku (nátrž na LB 110 cm), ale při úpravách v roce 2007 byla prakticky zcela zasypána (Obr. 34a). Druhý erozní úsek se vytvořil zhruba 30 m před profilem 4 (proti proudu) až k profilu 5 (Obr. 34g; Obr. 38). Nátrže pravidelně se střídající u protějších břehů již v roce 2006 nasvědčovaly rozvlnění proudnice a budoucí tvorbu zákrutů. Jejich vývoj byl příliš urychlen extrémní povodní v červenci 2006, kdy došlo k rozsáhlé boční erozi, rozšíření koryta, podemletí a ústupu břehů včetně vysázené stromové vegetace, která měla v budoucnu plnit stabilizační funkci. Úprava v roce 2007 se v této části neomezila pouze na posyp kamenem, ale zasáhla do celého tvaru koryta shlazením břehových svahů. Hrany nátrží proto zůstaly viditelné jen ojediněle. Místy uchylující se proudnice byla kamenným posypem na obou erozních úsecích opět napřímena a oblast

aktivního šelfu byla zúžena. Vysoká rychlost proudění v přímém korytě a kamenitý materiál zde zabraňuje intenzivnějšímu rozvoji vegetace. V akumulčních úsecích – kolem profilu 3 a mezi profily 5 a 6 – dochází naopak k intenzivnímu zarůstání vlhkomilnou vegetací (Obr. 34f, 34h). Drobné nátrže identifikované v roce 2006 zcela zmizely. Patrné již nejsou ani akumulace, které byly buď zarostlé vegetací nebo se již plně spojily s břehem. Celkem bylo na horním úseku v roce 2008 identifikováno 45 nátrží, což znamenalo minimální nárůst počtu oproti roku 2006 (o 2 více), ale jejich celková délka vzrostla o 77 % (ze 157 m na téměř 280 m). Zatímco v roce 2006 přesáhlo délku 6 m 16 % nátrží, o dva roky později bylo delších než 6 m 44 %. Nejdelší souvislá nátrž přitom měřila 18,88 m oproti dřívějším 10,4 m. Plocha vegetace narostla více než šestkrát, ze 14,11 m<sup>2</sup> na 91,52 m<sup>2</sup>.

Dolní část monitorovaného úseku, jižně od silnice II/165, se rozvíjí velice dynamicky a na rozdíl od části horní bez opětovného zásahu člověka. Od silničního mostu až k profilu 9 se poměrně pravidelně střídají zákruty s rozsáhlými nátržemi podél nárazových břehů a akumulčními útvary u břehů protějších (Obr. 35a-c). Tvar koryta u vyústění silničního propustku je ovlivňován umělým povrchovým přítokem srážkové vody a vody z odvodňující drenáže na pravém břehu těsně za mostem. Dostatek pomalu tekoucí vody způsobuje intenzivní zarůstání vegetací a zužování koryta. Zúžený úsek střídá ve vyprojektované zákrutě rozsáhlá tůň, o jejímž neustálém zvětšování svědčí nátrže na obou jejích březích (Obr. 35a). Od roku 2006 se drobné nátrže a břehové trhliny vyvinuly v mohutné nátrže převyšující 80 cm a v nárazových březích dosahující dokonce 135 cm. Paty břehů s nátržemi jsou často lemovány množstvím podemletých a utržených kusů zeminy a travních drnů (Obr. 39). Na mnoha místech došlo k utržení břehu i s dřevinnými odrostky, které byly určené k jejich zpevnění. Podemílání břehů a rozšiřování koryta dokazuje také stále větší počet odkrytých a vymletých drenážních trubek. Rozsáhlé akumulace z letní povodně v roce 2006 lemující břehy v okolí profilu 8 jsou již vysoce stabilizované s množstvím uchycených náletů pionýrských dřevin, jako jsou vrby a břízy (Obr. 35b). Ve většině jsou již těžko rozlišitelné od břehu. Znatelné ustupování podemílaných výsepních břehů a naopak posun jesepních břehů dovnitř koryta způsobují prohlubování zákrut. Akumulační úsek se vyvinul v okolí profilu 10, ale zejména za ním po směru proudu (Obr. 35d). Voda má v tomto úseku klidný průběh, nátrže z roku 2006 již nejsou patrné a koryto výrazně zarůstá vegetací. I malé vodní stavy se v zarostlém korytě odrážejí široce rozlitou hladinou (Obr. 40). Celkem bylo na dolním úseku v roce 2008 vymezeno 22 nátrží, a tudíž znatelně méně než o dva roky dříve (31). Ale na rozdíl od klesajícího počtu, jejich délky se výrazně zvětšily. Více než 85 % nátrží přesahovalo v roce 2008 3 m, a přes 6 m jich měřilo dokonce 68 %. V roce 2006 přitom tyto podíly činily

38 resp. 6 %. Nejdelší souvislá nátrž dosáhla délky 16,58 m. Souhrnná délka nátrží vzrostla o více než 80 % na 182,66 m. Téměř pětinasobně se zvětšila také plocha vymezené vegetace uvnitř koryta, ze 27,34 m<sup>2</sup> na 129,08 m<sup>2</sup>.

Od jara 2006 do jara 2008 došlo na monitorovaném úseku ke zvětšení zarostlé plochy koryta ze 41,45 m<sup>2</sup> na 220,6 m<sup>2</sup> (Obr. 41). Zároveň se zredukoval počet nátrží ze 74 na 67, ale na úkor navýšení jejich souhrnné délky o téměř 80 %, z 257,78 m na 462,33 m. O prodloužení jednotlivých nátrží svědčí zvýšení podílu více než šestimetrových nátrží ze 12 na 52 % (Obr. 30).

#### **5.2.4 Variabilita zrnitosti dnových sedimentů v podélném profilu koryta**

Zrnitostní analýza prokázala rozdíly v zrnitostním složení korytových sedimentů v podélném profilu (Obr. 36; Tab. 9). Hmotnost vysušených vzorků se pohybovala mezi 462 g (vzorek č. 1) a 688 g (vzorek č. 6) (Tab. 9). V pramenné oblasti Sviňovického potoka (vzorek č. 1) zcela dominuje písčité materiálu (téměř 90 %), z toho pouze jemný písek, tj. zrnitostní frakce do 0,25 mm, tvoří více než 30% podíl. Neobvyklý průběh zrnitostní křivky vzorku č. 2 je dán zvýšeným podílem hrubozrnných částic (drobného a středního štěrku) pravděpodobně pocházejících z úpravy koryta lomovým kamenem provedené na konci roku 2007 (Obr. 36). Tomuto faktu nasvědčuje i zvýšený podíl nezaoblených zrn ve vzorku. Většina vzorků odebraných v revitalizované části koryta vykazuje vyšší podíl štěrku, tj. velikost zrn od 2 mm do 128 mm. Výjimkou je pouze vzorek č. 3 odebíraný z čerstvé jemnozrnné akumulace vytvořené za překážkou u pravého břehu koryta (Obr. 23). Podíl štěrku narůstá po směru toku. U vzorku č. 7 odebíraného z mělčiny mezi profilem 10 a propustkem přejezdu TK 80/125 činí hmotnostní podíl štěrku více než 70 %.



### **PŘÍLOHA 3**

- Obr. 24 Historické změny v poloze koryta Sviňovického potoka
- Obr. 25 Maximální denní vodní stavy v profilu Sviňovického potoka
- Obr. 26 Rozložení maximálního naměřeného vodního stavu v příčných profilech na jaře 2006 a 2009
- Obr. 27 Vývoj šířek monitorovaných profilů v letech 2005 – 2009
- Obr. 28 Příčné profily
- Obr. 29 Srovnání příčných profilů v letech 2005 – 2009
- Obr. 30 Délky nátrží v letech 2006 a 2008
- Obr. 31 Podélný profil koryta Sviňovického potoka mezi přejezdy TK 80/125 a TK 60/125
- Obr. 32 Podélný profil koryta Sviňovického potoka mezi přejezdy TK 80/125 a TK 60/125 na jaře 2009
- Obr. 33 Poloha koryta mezi silničním mostem a přejezdem TK 80/125
- Obr. 34 Změny koryta v úseku mezi silnicí II/165 a propustkem pod přejezdem TK 60/125 v letech 2006 – 2008
- Obr. 35 Změny koryta v úseku mezi propustkem pod přejezdem TK 80/125 a silnicí II/165 v letech 2006 – 2008
- Obr. 36 Zrnitostní křivky vybraných dnových akumulací v podélném profilu koryta Sviňovického potoka
- Obr. 37 Koryto Sviňovického potoka pod propustkem hospodářského přejezdu TK 60/125
- Obr. 38 Koryto Sviňovického potoka v okolí profilu 4
- Obr. 39 Koryto Sviňovického potoka v úseku pod silnicí II/165 Zbytiny - Volary
- Obr. 40 Koryto Sviňovického potoka před propustkem přejezdu TK 80/125
- Obr. 41 Zarůstání koryta vegetací
- Tab. 5 Historické změny délky koryta Sviňovického potoka a délky odtoku od ústí po propustek hospodářského přejezdu 60/125
- Tab. 6 Průměrné hodnoty šířky, maximální hloubky a plochy příčných profilů 1 – 10
- Tab. 7 Vývoj průměrného sklonu dna a míry křivolakosti revitalizovaného koryta Sviňovického potoka
- Tab. 8 Parametry příčných profilů
- Tab. 9 Zrnitost vybraných vzorků dnových akumulací v korytě Sviňovického potoka

## 6 DISKUZE

Sviňovický potok byl v minulosti přetvořen opakovanými melioračními a regulačními zásahy. Přírodě blízkému stavu měla koryto potoka navrátit provedená revitalizace. Rozvolnění koryta při revitalizaci umožnilo toku samovolný vývoj, jehož sledování a zhodnocení bylo cílem této práce.

### 6.1 Použitá metodika

V rámci výzkumu byla aplikována řada různých metod, jejichž kombinace umožňuje přesnější zachycení trendů vývoje revitalizovaného koryta (Hooke 1997; Kondolf a kol. 2002; Kondolf a Piégay 2003; VanLooy a Martin 2005; Boix-Fayos a kol. 2007). Nepostradatelnou součástí výzkumů dynamiky říčních koryt se stala analýza historických materiálů a map, které vypovídají o stavu toku desítky i stovky let zpět (např. Marston a kol. 1995; Hradecký 2002; Urban a Rhoads 2003; Skokanová 2005; Skalická 2008). Již v rámci bakalářské práce (Hujšlová 2007) bylo provedeno srovnání průběhu koryta na historických mapách z různých časových období uplynulých více než 150 let. Obdobnou metodu zvolila ve své práci např. Bicanová (2005), která zjišťovala historické změny délek vodních toků v povodí Košínského potoka. Analýza byla zaměřena na odhalení významných změn v poloze koryta, proto byly chyby, které nezbytně vznikají při skenování a georeferencování map (Downward a kol. 1994; Hooke 1997; Hughes a kol. 2006), považovány za zanedbatelné.

Stěžejní metodou výzkumu současné dynamiky koryta byla opakovaná terénní geodetická měření a přímý monitoring prováděný od roku 2005 Katedrou fyzické geografie a geoekologie PřF UK, do něhož jsem byla zapojena. Přímý monitoring, resp. měření, jsou nejčastější metodou studia změn říčních koryt (Knighton 1984; Friedman a kol. 1996; Xu 2002; Skokanová 2005; Boix-Fayos a kol. 2007; Hooke 2007; Skalická 2008 a další). Během monitorovaného období bylo na zrevitalizovaném úseku Sviňovického potoka opakovaně zaměřováno nejprve deset, od jara 2006 dvanáct vytipovaných příčných profilů a profil podélný. Měření probíhala zpravidla na konci dubna a na začátku října. Hooke (2007) doporučuje provádět terénní měření právě před začátkem nebo v samém počátku vegetačního období, kdy zůstávají ještě dobře patrné následky jarního tání a vegetace nezakrývá koryto. Příčné profily, které Graf (2001) a Knighton (1984) považují za nejvhodnější charakteristiky pro určení změn koryta, byly na sledovaném úseku rozloženy relativně rovnoměrně (7 v delší horní polovině, 5 v dolní polovině). Umístění jednotlivých profilů se s odstupem času ukázalo celkem úspěšné, neboť jsou jimi postižena až na drobné výjimky nejdynamičtěji se vyvíjející

místa. Z hlediska detailnějšího postižení změn v akumulacích úsecích toku by profily 6 a 10 měly být lokalizovány o několik metrů proti proudu (profil 6), resp. po proudu (profil 10). Doplněním geodetických měření fotogrammetrickými metodami byl však tento nedostatek nahrazen a jsou zdokumentovány změny i v těchto místech. Krajiní zaměřované body příčných profilů nebyly stanoveny podle jednotného kritéria, proto byla u každého jednotlivého zaměřeného profilu určena hranice plnoprůtočného profilu. Toto vymezení bylo výchozím předpokladem pro pozdější vzájemné srovnání příčných profilů jak po délce toku, tak mezi jednotlivými měřeními. Metody pro určení horní hranice plnoprůtočného profilu shrnují ve své práci Harrelson a kol. (1994). Jiné vymezení používá Williams (1978), neboť charakterizuje plnoprůtočný profil na základě určení takové šířky koryta, která poskytne minimální hodnotu poměru šířky a hloubky  $\omega$ . Tato metoda je však v terénu velice obtížně proveditelná. Za nejspolehlivější označují Harrelson a kol. (1994) metodiku Western a kol. (1997). Ta byla použita rovněž v této práci. Jedná se o případ, kdy je plnoprůtočný profil ohraničen buď výrazně vysoko položeným bodem na břehu, nebo bodem, kde dochází k výraznému zmenšení sklonu břehu. V našem případě znesnadnily u většiny profilů detekci hraničních bodů malé sklony břehů bez výraznějších hran, proto může být jejich vymezení do jisté míry postiženo subjektivní chybou. Jako základní ukazatel změn profilů byla brána především šířka plnoprůtočného profilu  $W_{bkf}$ , neboť je, jak zdůrazňuje Graf (2001), parametrem nejvíce citlivým na změny podmínek ovlivňujících tvar koryta. Kromě šířky byla stanovena celá řada dalších parametrů popisujících velikost a tvar příčného profilu, které různí autoři doporučují pro přesnější zhodnocení změn (Gilvear a Bravard 1996; Rosgen 1996; Western a kol. 1997; Fahnestock 1963). Parametr  $E$ , který Western a kol. (1997) používají pro charakteristiku vertikální polohy příčného profilu, bylo možné na sledované profily úspěšně aplikovat s jasně interpretovatelnými výsledky.

Pro zachycení vývoje celého monitorovaného úseku Sviňovického potoka, ne jen v místech stanovených příčných profilů, bylo provedeno nasnímkování lokality z nízkoletících modelů letadla (v letech 2006 a 2008) a helikoptéry (2007). Využití leteckých snímků, resp. fotografií, je ve fluvialně-morfologickém výzkumu často aplikovanou metodou (Reinfelds 1997; Chew a Ashmore 2001; Hughes a kol. 2006; Buckingham a Whitney 2007; Korpak 2007). Snímání proběhlo na konci dubna, resp. na začátku května, kdy ještě vegetace neznemožňuje interpretaci (Hooke 2007). I přesto se zpracování snímků ukázalo být velice problematickým a nakonec byly použity pouze výsledky snímání z let 2006 a 2008. Snímání bylo provedeno po úsecích. Měřítka sousedních snímků se mezi navazujícími úseky a v některých případech i v rámci těchto úseků lišilo, což způsobilo problémy s orientací

snímků. Ke zhoršené přesnosti orientace přispěl rovněž poměrně nízký počet vlíčovacích bodů, které navíc byly vzhledem k úzkému záběru soustředěné v těsné blízkosti koryta. Současně způsobila obtíže nedostatečná ostrost některých snímků v důsledku vibrací a rychlosti pohybu nosiče kamery (letadla nebo helikoptéry). Helikoptérou pořízené snímky byly v mnoha případech značně rozostřené, minimálně se překrývaly a v důsledku snímkování z malé výšky zobrazovaly většinou pouze koryto, nebo dokonce jen jeho část, bez záběru okolí nutného pro umístění vlíčovacích bodů, což znemožnilo jejich transformaci do souřadného systému. Při zpracování nemohly být proto použity, čímž byla značně omezena interpretace změn koryta. Doba jejich pořízení na jaře 2007 reprezentovala situaci po rozsáhlých povodních v létě 2006, ale zároveň před umělými úpravami koryta na konci roku 2007. Při jejich vyhodnocení by proto byly patrné značné změny vyvolané povodní i skutečný rozsah následných úprav. Snímky z let 2006 a 2008 byly Ing. Potůčkovou transformovány do souřadnicového systému S-JTSK pomocí projektivní transformace programu MicroStation V8 a jeho nadstavby Descartes. Projektivní transformace řeší vztah mezi rovinou snímku a rovinou vztažného souřadnicového systému a přítomnost výškových rozdílů v terénu se proto projevuje radiálními posuny bodů v transformovaném snímku oproti jejich správné poloze (Kliment a kol. 2008). V některých úsecích sledovaného toku tak může chyba ze zpracování dosahovat vzhledem k výškovým rozdílům mezi břehy a dnem koryta až desítek centimetrů (Kliment a kol. 2008). S ohledem na tyto chyby nebyly vektorizované objekty hodnoceny v podrobnějším měřítku překládáním přes sebe. Výše zmíněné rozostření snímků, které se ještě zvýšilo při jejich transformaci do souřadného systému, ztížilo identifikaci břehů a dnových forem koryta. Výsledkem plnohodnotného zpracování snímků by měl být v budoucnu 3D model koryta, který by umožnil například výpočet objemových změn koryta či objemu eroze a akumulace, a ortofoto zájmového území. Překážkou jsou však výše uvedené nedostatky snímků (různá měřítko, malé překryty, málo vlíčovacích bodů...).

Předkládaná diplomová práce prezentuje vývoj od června 2005 do května 2009 tedy období čtyř let, což je na tento typ studie období poměrně krátké. Podle Downse a Kondolfa (2002) je například pro posouzení udržitelnosti realizovaných revitalizačních úprav na vodním toku nutný monitoring minimálně po dobu deseti let. V případě přímého monitoringu, kdy jsou zjišťovány rychlé změny koryta nebo procesů, které v jednotlivých úsecích toku dominují, je naopak takováto délka dostačující (Skokanová 2005). Současně je nutné zdůraznit, že hlavní pozornost byla při studiu koryta věnována vývoji velikosti a tvaru vymezených příčných profilů, u nichž mohou být signifikantní změny patrné již za méně než

jeden rok, případně trendům zužování či rozšiřování koryta, které jsou postihnutelné během několika málo let (Gilvear a Bravard 1996; Brierley a Fryirs 2005).

## **6.2 Dynamika revitalizovaného koryta Sviňovického potoka**

### **6.2.1 Historické změny polohy koryta**

Rozsah antropogenního vlivu na koryto Sviňovického potoka odhalila analýza mapových podkladů pokrývajících období 1843 – 2005 (Hujšlová 2007). Až do poloviny 20. století vykazovalo koryto Sviňovického potoka jen minimální rozdíly ve své poloze. Výrazná podobnost linií v poměrně dlouhém časovém období (zhruba 100 let) může nasvědčovat tomu, že při tvorbě mapy v r. 1888 resp. v 50. letech, nebyla aktuální pozice koryta nově zaměřena. Druhým možným vysvětlením jsou nepřesnosti při zpracování mapových podkladů (při skenování a následném upravování map, georeferencování, vektorizaci). Na možnosti vzniku chyb při zpracování starých map upozorňují Downward a kol. (1994) a Hughes a kol. (2006). Na druhou stranu výrazná podobnost linií Rozsáhlá vlna regulačních a odvodňovacích opatření 70. a 80. let minulého století, kterou se podrobněji zabývají Just a kol. (2003), razantně ovlivnila i povodí Sviňovického potoka. Katastrální mapa z roku 1982 (ČÚZK 2006a) dokazuje posun ústí do Zbytinského potoka o zhruba 290 m po proudu od jeho polohy na starších mapách, a tudíž i celkovou změnu trasy koryta jižně od silničního mostu. Přemístění koryta Sviňovického potoka na dolním toku potvrzují také geologické a půdní mapy území. Východně od současného dolního toku čili v místech původní polohy koryta jsou rozšířeny hlinitopísčité a hlinitokamenité sedimenty typické pro široká okolí vodních toků a oglejené půdy vázané na zamokřená území. Posun koryta byl proveden s cílem omezit zaplavování intravilánu Zbytin, k němuž docházelo v důsledku vyústění potoka uvnitř obce. Ačkoliv samotné koryto Sviňovického potoka bylo při melioračních úpravách prodlouženo zhruba o 3 %, délka trasy, kterou musela odtékající voda urazit do místa nově vytvořeného ústí, se zkrátila o téměř 19 % ve srovnání s rokem 1843. Tím byl významně urychlen odtok vody z území (Červinka 1995). Prodloužení koryta Sviňovického potoka na jaře 2005, které je naopak obvyklým cílem revitalizací (Just a kol. 2003), znamenalo změnu délky o necelá 3 %. Původně však bylo plánováno ještě výraznější prodloužení (Hujšlová 2007). Srovnání ortofot (ČÚZK 2005) a geodetických měření s revitalizačním projektem prokázalo, že návrh na vytvoření nového koryta se zákrutami na km 0,318 – 0,650 nebyl zcela realizován. Zákruty nebyly vytvořeny na celém plánovaném úseku a jsou menší než bylo navrhováno. Cílené délky revitalizovaného úseku 1,145 km tak nebylo dosaženo. V současnosti činí délka toku

k propustku zhruba 1,138 km. Analýza mapových podkladů současně odhalila, že nová poloha koryta Sviňovického potoka vytvořená při revitalizaci na jaře 2005 nebyla do katastru zanesena a katastrální úřad udává mapu pozemkového katastru z roku 1982 za aktuální (Hujšlová 2007).

### **6.2.2 Dynamika revitalizovaného koryta**

Výsledky geodetických měření a interpretace snímků z let 2006 a 2008 prokázaly, že revitalizované koryto Sviňovického potoka prodělalo od jara 2005 velmi dynamický vývoj. Rozšířilo se a prohloubilo, čímž se značně zvětšila jeho celková kapacita.

V dynamickém vývoji se odrážejí obě skupiny faktorů, které rozlišuje Lehotský (2006), tj. přirozené faktory (geologická stavba území, klima, vegetace) a člověk. Již ve 2. polovině 20. století zasáhl člověk do charakteru toku jak přímými, tak nepřímými změnami. Přímé antropogenní zásahy, jejichž vymezení uvádějí Knighton (1984) a Lehotský (2006), zahrnovaly regulaci koryta, spoutání toku do pravidelného betonového profilu a přemístění do uměle vytyčené polohy. Doprovázeny byly tzv. nepřímým ovlivněním (Knighton 1984; Lehotský 2006) prostřednictvím změn ve využití půdy a vybudováním rozsáhlé odvodňovací soustavy v povodí. Negativní dopady melioračních zásahů, zejména zrychlený odtok vody z krajiny, měla napravit částečná revitalizace provedená na jaře 2005, při níž byly z koryta na dolním a středním toku odstraněny betonové desky. Pro současný vývoj koryta se však ukázalo klíčovým ponechání horního toku ve zregulovaném korytě ze 70. let. Hladké a relativně hluboké napřímené koryto má nízkou hydraulickou drsnost, což vede ke značnému zvýšení rychlosti protékající vody (Havrlant a Buzek 1985; Martiš 1988; Langhammer a Matoušková 2006). Probíhající monitoring potvrzuje, že právě zrychlující efekt zpevněného koryta je pro dolní rozvolněný tok určující. Vysoká rychlost proudění přímo zvyšuje unášecí a erozní schopnost toku (Stejskal 1949; Demek a kol. 1976), a ta se plně projevuje právě v rozvolněném korytě s nezpevněnými břehy intenzivní erozí. Současně přispívá k velké rychlosti vysoký spád toku (Demek a kol. 1976), který na horním hladkém úseku dosahuje v průměru 4 % a v revitalizované části sice nižších, ale stále vysokých, 1,9 (mezi ústím a mostem), resp. 2,6 % (mezi mostem a přejezdem TK 60/125). Zpevnění profilu koryta na horním toku zároveň způsobuje minimální vnos sedimentů do toku, takže z propustku pod hospodářským přejezdem TK 60/125 vytéká voda s nepatrným množstvím splavenin. Nastává tedy situace podobná segmentům toků pod přehradami a jezy, nad nimiž dochází k rozsáhlé akumulaci a pod nimi o splaveniny ochuzený proud koryto výrazně vymílá (Leopold a kol. 1992; Bravard a Petts 1996; Surian 2002). K mohutné erozní činnosti, která byla na mnoha

místech koryta sledována, přispěla rovněž malá odolnost pararulových eluvií na straně jedné a chladné vlhké klima s množstvím srážek na straně druhé. Dostatek srážek zvyšuje průtoky a tím i erozní sílu toku (Demek a kol. 1976). Tento efekt se zásadně projevil v červenci 2006, kdy vysoké srážkové úhrny vyvolaly mohutnou povodeň. Při extrémních průtocích byla v potoce nastartována intenzivní hloubková i boční eroze, takže bylo rozvolněné koryto do začátku října v některých místech zahlobeno o 30 cm nebo rozšířeno až o 1 m. V jiných částech byly naopak uloženy vrstvy sedimentů o mocnosti až 30 cm, a dno koryta se tak dostalo zpět na úroveň z června 2005 nebo dokonce výše.

Intenzivní eroze dna, ale především břehů, se jeví jako pravděpodobná příčina výskytu hrubozrnného materiálu po celé sledované délce koryta Sviňovického potoka. Zrnitostní analýza potvrdila, že v korytě není vyvinuta diferenciace dnových sedimentů podle zrnitosti, jak ji uvádějí Stejskal (1949) či Horník a kol. (1986), tj. hrubozrnných částic po proudu neubývá, ale naopak. Také při výzkumu Goldeny a kol. (2006) se ve vzorku více než 150 toků ukázalo, že velikost ukládaného materiálu neklesá v korytech směrem po proudu, což bylo odůvodněno právě přísunem hrubšího materiálu přítoky a erozí vlastních břehů a dna koryta. Extrémnímu rozrušování břehů boční erozí by mohla do jisté míry zabránit zapojená vegetace, jejíž kořenový systém působí stabilizujícím účinkem (Knighton 1984). Koryto Sviňovického potoka však po revitalizaci vegetaci zcela postrádalo. V rámci revitalizačního projektu proběhla kolem toku výsadba doprovodné vegetace v nepravidelných skupinách v různé vzdálenosti od sebe (Kohoutek a Tuček 2002), ale vzdálenost výsadeb od břehové hrany byla příliš malá, odrostky příliš mladé a kořenové systémy nezapojené, než aby odolaly vysokým průtokům v létě 2006. Výsledkem bylo podemletí břehů a jejich ústup, díky němuž velký počet vysázených stromků popadal do koryta.

Výsledky měření odhalily, že podélný profil zrevitalizovaného koryta Sviňovického potoka zaznamenal během sledovaného období prokazatelné změny. Vyčlenily se v něm erozní a akumulační úseky, v jejichž rozložení sehrávají klíčovou roli propustky. Podle Engela a Křížka (2003) jsou stupně v korytě, např. v podobě propustků, místy, kde jsou korytotvorné procesy v průběhu povodňových průtoků intenzivnější, tj. účinky eroze či akumulace jsou v jejich okolí mnohem výraznější. Tyto závěry potvrzují i výsledky výzkumu na Sviňovickém potoce. Mohutná eroze nastartovaná povodní v létě 2006 se projevila zejména na samém počátku úseku pod propustkem hospodářského přejezdu TK 60/125. Byla zde vytvořena rozsáhlá tůň lemovaná mohutnými nátržemi přesahujícími výšku 1 m. Obdobně působí i klenbový propustek na silnici Zbytiny – Volary a uměle vytvořený práh, který byl v korytě v blízkosti propustku umístěn. Intenzita eroze není v okolí klenbového propustku

tolik patrná, přesto se stal důležitou překážkou v podélném profilu ovlivňující rozložení korytotvorných procesů. V úseku nad silnicí se vytvořil výrazný akumulační úsek, v němž se koryto zanáší, pod silnicí naopak dominuje erozní činnost. Také nad propustkem na samém konci sledovaného úseku dochází k mohutné sedimentaci unášeného materiálu. Dno koryta zde bylo zaneseno již natolik, že jeho úroveň přesahuje úroveň v roce 2005. Porovnáním terénních měření a materiálů ZVHS bylo zjištěno extrémní zahloubení dna v dolní části toku. Tento fakt však neodpovídá realitě. Během pouhého jednoho roku od revitalizace (tj. od jara 2005) by muselo dojít kolem profilů 8 a 9 k zahloubení o téměř 1 m. Měření příčných profilů v červnu 2005 však potvrzují, že úroveň dna v těchto profilech byla zhruba o 80 cm níže, než je uvedeno v revitalizačním projektu (Kohoutek a Tuček 2002). Není možné, aby za pouhých několik měsíců bylo v těchto místech koryto natolik zahloubeno, proto je vysoce pravděpodobné, že při stavbě bylo koryto zahloubeno mnohem více. Důvodem byla pravděpodobně snaha napojit do koryta vyústění plošných drenáží. Změny podélného profilu za čtyři sledované roky potvrzují obecně platná tvrzení Leopolda a kol. (1992) a Westerna a kol. (1997), že se sklon dna směrem po proudu zplošťuje a přibližuje se konkávnímu tvaru. Tuto pravidelnost je samozřejmě možné aplikovat pouze při rozdělení toku na jednotlivé části oddělené stupni v podobě propustků, které představují místní erozní báze, a tak se podélný profil jednotlivých úseků přizpůsobuje právě jim (Horník a kol. 1986). V úseku pod silničním mostem navíc dochází k pomalému snižování sklonu dna tím, jak je horní část zahlubována, dolní naopak zanášena a koryto je současně prodlužováno díky boční erozi.

Koryto Sviňovického potoka má přímý až mírně zvlněný průběh. Od počátku monitoringu byla na celém studovaném úseku pozorována tendence toku tvořit zákruty. V horní části sledovaného úseku je patrné postupné utváření sekvencí mělčin a tůní (riffle-pools), které jsou typické pro přímá koryta tvořená heterogenním materiálem (Knighton 1984; Leopold a kol. 1992). Přímý průběh koryta také koresponduje se závěry Knightona (1984), který vývoj přímých koryt spojuje s velkým spádem a nízkými průtoky, přičemž obě podmínky studovaný tok splňuje. V roce 2007 měla proudnice i v tomto přímém úseku značně zvlněný průběh. Spontánní tvorba zákrutů však byla zastavena zasypáním erozních břehů lomovým kamenem. Na rozdíl od horního úseku nebylo při revitalizaci jižně od silnice ponecháno přímé koryto, ale byly zde vyprojektovány umělé zákruty. Uměle vychýlená proudnice ve zvlněném korytě, které nebylo zpevněno žádným materiálem ani v patkách svahů, vedlo k rychlé erozi dna i břehů, a proto se již před letní povodní 2006 stihly vyvinout četné nátrže. Povodeň erozi ještě zintenzivnila, v mnoha zákrutech došlo k výraznému ústupu břehů. Navzdory pokračujícímu podemílání břehů a prohlubování zákrutů byl úsek



Sviňovického potoka pod silničním mostem ponechán samovolnému vývoji. Důvodem je pravděpodobně jeho poloha v CHKO Šumava, jejíž hranice v tomto území probíhá souběžně se silnicí II/165 Zbytiny – Volary. Téměř na celé délce úseku se již vyvinuly sekvence nárazových břehů s nátržemi a jesepních břehů, u nichž je materiál sedimentován. Rozsáhlé akumulace, které se u břehů vytvořily v létě 2006, jsou již vysoce stabilizované a prakticky zcela propojené s přiléhajícími břehy. Výsledkem toho se zákruty prohlubují a křivolakost koryta se zvyšuje. Stejný vývoj zaznamenali VanLooy a Martin (2005) na Cimarron River v Kansasu, kde se staré korytové akumulace natolik stabilizovaly, že se propojily s břehem, čímž se zúžilo vlastní koryto a zvýšila se jeho křivolakost.

### 6.3 Očekávaný vývoj koryta

Od léta 2006 až do jara 2009, kdy bylo prováděno poslední geodetické měření zahrnuté v této práci, nebyla v oblasti Sviňovického potoka zaznamenána obdobně výrazná srážko-odtoková událost jako v červenci 2006. Měření od roku 2007 svědčí o pozvolné stabilizaci koryta a rovněž o jeho postupném zužování. Ačkoliv šířka v plnoprůtočné úrovni koryta od revitalizace vzrostla, již nyní je na většině sledovaného úseku patrné zužování aktivního šelfu, resp. šířky při dně koryta. Příčin je hned několik – opevnění koryta lomovým kamenem, absence vyšších průtoků, rozvoj vegetace, spadané břehy.

Nejviditelnějším důvodem zužování je zasypaní břehů, a na některých místech i dna, v horní polovině sledovaného úseku lomovým kamenem. Rozvlněná proudnice byla kamenným posypem na obou erozních úsecích napřímena a oblast aktivního šelfu byla na celém zasypaném úseku zúžena. Byl použit kámen o průměru zhruba 30 cm, proto lze předpokládat, že běžně se vyskytující nízké průtoky nebudou mít dostatek síly k jejich přemístění. Nové zpevnění a umělé napřímení proudnice se bezpochyby odrazí na změně korytotvorných pochodů nejen v tomto, ale i navazujícím úseku toku.

Mnohem přirozenější je zužující efekt vegetace. Absence vyšších průtoků od léta 2006 poskytla prostor k sedimentaci jemnozrnného materiálu nejen v tradičně akumulačních úsecích, ale také v dalších místech, kde má proudění nižší rychlost. VanLooy a Martin (2005) zjistili, že právě absence větších průtoků, které dříve vymývaly jemnozrnné sedimenty z koryta, vedla k mohutnému zanášení koryta Cimarron River v Kansasu a jejímu následnému zarůstání. Friedman a kol. (1996) zdůrazňuje nezbytnou přítomnost živin jako limitujícího faktoru pro rozvoj vegetace. V případě Sviňovického potoka takové omezení nehrozí. Využití k potoku přiléhajících ploch jako pastvin pro skot zajišťuje více než dostatečný přísun

nutrientů, především dusíku, a rozvoj rostlinstva bezpochyby velice urychluje. To potvrzuje více než pětinasobný nárůst ploch vegetace na monitorovaném úseku za pouhé dva roky (2006 – 2008). Údaj je přitom omezen pouze na situaci v počátku vegetačního období. Během léta již zarůstá prakticky celé koryto s výjimkou horního erozního úseku, kde vysoké rychlosti proudění znemožňují výraznější usazování jemnozrnného materiálu, a tudíž i zabraňují intenzivnějšímu rozvoji flóry. Zuzující vliv vegetace se v korytě Sviňovického potoka zatím viditelně projevuje ve dvou případech. Jedním je meandrující úsek v dolní části, kde byly břehové akumulace natolik stabilizovány, že se prakticky propojily s břehem a rozlišitelné jsou jen při detailnějším pohledu. Kromě vlhkomilné vegetace se zde vyskytují rovněž četné nálety pionýrských dřevin, především vrby, břízy, olše atd. Druhým případem jsou místa vyústění drenáží, popř. soustředěného odtoku z okolních mokřadů (např. na pravém břehu pod silnicí, pod horním propustkem atd.), která jsou početná v horním i dolním úseku. Přítok vody je zpravidla natolik malý, že proudění nezabraňuje rozvoji flóry, na druhou stranu dostatečný na to, aby přinášel do koryta jemnozrnný materiál a dostatkem vlhkosti a živin podporoval urychlený rozvoj hydrofilních rostlin v sedimentech. Vegetace, ať už svými kořeny či povrchovými výhonky, zachycuje další množství vodou transportovaného materiálu. Tím akumulace narůstají a dostávají se i s vegetací z dosahu každodenního proudění vody. Průměrné či spíše nízké průtoky narušení sedimentačních procesů neumožňují. Frekvence jejich narušování se tím omezí pouze na výskyt větších průtoků, a tak je více času na další stabilizaci (Friedman a kol. 1996).

Kromě vegetace budou sehrávat důležitou zpevňující úlohu spadané břehy. V dolní části toku, která nebyla narušena zásahy člověka v roce 2007, došlo v důsledku boční eroze k podemletí poměrně dlouhých úseků břehů, které na mnoha místech vyústilo v utržení a zřícení břehových hran. Paty svahů zde proto lemují často objemné kusy zeminy a drnů. Díky své velikosti a kompaktnosti ale začínají působit jako ochranná hráz rozrušovaného břehu. Jak uvádí Gurnell (2007), velké masy utržených břehů zůstávají při průměrných průtocích na místech dopadu, tzn. na břehových úpatích, a velice rychle se přizpůsobují novým podmínkám. Jako překážky proudění zachycují transportované sedimenty i s živinami a vegetativními orgány nejrůznějších rostlin, které díky dostatečné vlhkosti zakořeňují. Tak se stávají relativně stabilní součástí koryta a tvoří přirozenou ochranu dříve intenzivně erodovaného břehu, ke kterému se nyní proudnice za běžných stavů nedostane.

Cílem řady revitalizací je navrátit vodnímu toku jeho přirozený charakter a podobu (Downs a Kondolf 2002; Just a kol. 2003 atd.). V budoucím vývoji Sviňovického potoka nedojde k navrácení koryta do původní polohy před meliorací, neboť provedený posun ústí

byl příliš velký a ani revitalizace nebyla za tímto účelem provedena. Potok byl rozvolněn a byly vytvořeny podmínky pro zvýšení biodiverzity v korytě i jeho okolí. Je však stále spoután velkým množstvím propustků, které ho budou udržovat i v následujících letech v relativně konstantní poloze. Podstatnější změny v charakteru či poloze koryta, které by způsobily například další ústup břehů či vyšší koncentrace unášených splavenin, jsou kontrolovány. I nadále je toto území studováno členy katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK, a kontrolováno ochránci perlorodky říční v NPP Blanice (zejména VÚV TGM) a majitelem přilehlých pozemků, jejichž plochu a využití rozšiřující se koryto omezuje. Pro přesné posouzení stability koryta doporučují Downs a Kondolf (2002) monitoring po dobu nejméně deseti let od provedení revitalizace. Do jaké míry se korytu Sviňovického potoka podařilo stabilizovat, se projeví při výskytu srážko-odtokové události podobné té z července 2006.

## 7 ZÁVĚR

V průběhu let 2005 – 2009 byla sledována dynamika revitalizovaného úseku koryta Sviňovického potoka. Analýzou získaných dokumentů a mapových podkladů z různých období od poloviny 19. století byl doložen rozsáhlý vliv člověka na vývoj tohoto toku v minulosti. Meliorační úpravy v 70. letech 20. století zcela změnily polohu dolního toku a ústí do Zbytinského potoka bylo posunuto zhruba 290 m po proudu. Přírodní koryto se zvlněným průběhem vystřídal napřímený betonový kanál. Při revitalizaci v roce 2005 již nebylo možné rozvolněné koryto vrátit do původní polohy. Kromě toho byla provedená revitalizace pouze částečná. Koryto bylo rozvolněno jen na zhruba kilometrovém úseku ve spodní části toku, kdežto horní tok zůstal napřímen a opevněn.

Výsledky měření ukázaly, že pro současnou dynamiku koryta je určující charakter horního toku. Odtékající voda získává v hladkém opevněném korytě vysokou rychlost a v rozvolněném korytě má pak silné erozivní účinky, které se projevují zejména v počátečním úseku vymíláním dna, podemláváním břehů a vznikem rozsáhlých nátrží. Eroze dna a břehů dotuje celý revitalizovaný úsek množstvím hrubozrnného materiálu. Důležitou úlohu v utváření podélného profilu sehrávají propustky, neboť tvoří významnou překážku proudění. V úsecích před propustky se unášený materiál ukládá a koryto se zanáší, pod propustky po proudu naopak dominuje erozní činnost. Intenzivní eroze dna a břehů zvyšující koncentrace unášených částic ohrožovala populaci vzácné perlorodky říční ve Zbytinském potoce. Zároveň zmenšovala plochu přiléhajících zemědělsky využívaných pozemků. Potlačena byla zasypáním největších nátrží opevňujícím kamenivem.

Během sledovaného období došlo k výraznému rozšíření a zahloubení koryta. Na celém studovaném úseku byla zaznamenána tendence toku tvořit zákruty. V horní části nad silničním mostem byla spontánní tvorba zákrutů potlačena opevněním lomovým kamenem. V dolní části bylo koryto díky poloze v CHKO Šumava ponecháno samovolnému vývoji a zákruty, které byly vyprojektovány již v rámci revitalizace, se nadále vyvíjejí velice dynamicky. V uplynulých třech letech nebyla na toku zaznamenána významnější srážko-odtoková událost a dochází k mohutnému zarůstání koryta vegetací. V kombinaci s opevněním nátrží na horním úseku dochází k pozvolné stabilizaci koryta.

## 8 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ALBRECHT, J. a kol. (2003): Českobudějovicko. In: Mackovčín, P., Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VIII. AOPK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 808 s.
- ALBRECHTOVÁ, A. (2006): Plán péče pro období 2006 – 2014 PP Pod Sviňovicemi. AOPK ČR, České Budějovice, 11 s. [cit. 3. 12. 2009]. Dostupné z: <[http://www.kraj-jihocesky.cz/file.php?par%5Bid\\_r%5D=18207&par%5Bview%5D=0](http://www.kraj-jihocesky.cz/file.php?par%5Bid_r%5D=18207&par%5Bview%5D=0)>.
- AOPK ČR (2005): Půdní mapa ČR 1:50 000. 32-12 Volary [cit. 20. 1. 2010]. Dostupné z: <<http://www.nature.cz/monitoring-pud/>>.
- ARCDATA Praha (2003): ArcČR 500, verze 2.0 Digitální geografická databáze 1:500 000.
- BABŮREK, J., PERTOLDOVÁ, J., VERNER, K., JIŘIČKA, J. (2006): Průvodce geologií Šumavy. Správa NP a CHKO Šumava a ČGS Praha, Vimperk, 118 s.
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BALOUN, J. (1980): Souhrnná technická zpráva k projektu odvodnění pozemků - rekonstrukce drenážní sítě střediska Zbytiny. – nepublikováno.
- BARTHOLDY, J., BILLI, P. (2002): Morphodynamics of a pseudomeandering gravel bar reach. *Geomorphology*, 42, s. 293-310.
- BERNHARDT, E.S., PALMER, M.A., ALLAN, J.D., ALEXANDER, G., BARNAS, K., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C., FOLLSTAD-SHAH, J., GALAT, D., GLOSS, S., GOODWIN, P., HART, D., HASSETT, B., JENKINSON, R., KATZ, S., KONDOLF, G.M., LAKE, P.S., LAVE, R., MAYER, J.L., O'DONNELL, T.K., PAGANO, L., POWELL, B., SUDDUTH, E. (2005): Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science*, 308, s. 636-637.
- BICANOVÁ, M. (2005): Použití metody ekomorfologického monitoringu v povodí Košínského potoka s využitím nástrojů GIS. Diplomová práce. KFGG, PřF UK Praha, Praha, 108 s.
- BOIX-FAYOS, C., BARBERÁ, G.G., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F., CASTILLO, V.M. (2007): Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). *Geomorphology*, 91, s. 103-123.
- BRAVARD, J.P., PETTS, G.E. (1996): Human impacts on fluvial hydrosystems. In: Petts, G.E., Amoros, C. (ed.): *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall, London, s. 242-262.

- BRIERLEY, G.J., FRYIRS, K.A. (2005): *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publications, Oxford, 398 s. [cit. sec. Lehotský 2006].
- BROOKS, A.P., BRIERLEY, G.J., MILLAR, R.G. (2003): The long-term control of vegetation and woody debris on channel and flood-plain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. *Geomorphology*, 51, s. 7-29.
- BUCKINGHAM, S.E., WHITNEY, J.W. (2007): GIS Methodology for Quantifying Channel Change in Las Vegas, Nevada. *Journal of the American Water Resources Association*, 43, č. 3, s. 888-898.
- CENIA (2005a): Geomorfologické členění ČR 1:50 000 [cit. 5. 1. 2007]. Dostupné z: <<http://www.geoportal.cenia.cz>>.
- CENIA (2005b): ZCHÚ ČR 1:100 000 [cit. 5. 1. 2007]. Dostupné z: <<http://www.geoportal.cenia.cz>>.
- CÍSAŘSKÉ POVINNÉ OTISKY STABILNÍHO KATASTRU ČECH, mapový archiv ČÚZK Praha.
- CLÉMENT, P., PIÉGAY, H. (2003): Statistics and Fluvial Geomorphology. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (ed.): *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley, Hoboken, s. 597-630.
- ČERVINKA, P. (1995): *Antropogenní transformace přírodní sféry*. Karolinum, Praha, 68 s.
- ČGÚ (2005): GEOCR 1:50 000.
- ČÚZK (2005): ortofoto horní Blаницe.
- ČÚZK (2006a): Mapa katastru nemovitostí 1:2 880, číslo mapového listu Prachatice, Z.S.II-32-14.
- ČÚZK (2006b): Mapa pozemkového katastru č. 4 1:2 880.
- ČÚZK (2006c): Před ke kresbě katastrálních plánů [cit. 5. 1. 2007]. Dostupné z: <[http://archivnimapy.cuzk.cz/cio/Data/legenda/CIOlegenda\\_index.html](http://archivnimapy.cuzk.cz/cio/Data/legenda/CIOlegenda_index.html)>.
- DANA (1850): On denudation in the Pacific. *American Journal of Science, Series 2*, 9, s. 48-62 [cit. sec. Kondolf a kol. 2003a].
- DEMEK, J. (1988): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 480 s.
- DEMEK, J., QUITT, E., RAUŠER, J. (1976): *Úvod do obecné fyzické geografie*. Academia, Praha, 400 s.
- DOUGLAS, I. (2000): *Fluvial Geomorphology and River Management*. Australian Geographical Studies, 38, č. 3, s. 253-262.
- DOWNS, P.W., KONDOLF, M.G. (2002): Post-Project Appraisals in Adaptive management of River Channel Restoration. *Environmental Management*, 29, č. 4, s. 477-496.

- DOWNWARD, S.R., GURNELL, A.M., BROOKES, A. (1994): A methodology for quantifying river channel planform change using GIS. Variability in Stream Erosion and Sediment Transport (Proceedings of the Canberra Symposium, December 1994). IAHS Publ., 224, s. 449-456.
- FAHNESTOCK, R.K. (1963): Morphology and hydrology of a glacial stream – White River, Mount Rainier Washington. US Geological Survey Professional Paper 422-A, 67 s. [cit. sec. Harnischmacher 2007].
- FRIEDMAN, J.M., OSTERKAMP, W.R., LEWIS, W.M. (1996): Channel Narrowing and Vegetation Development Following a Great Plains Flood. *Ecology*, 77, č. 7, s. 2167-2181.
- GILVEAR, D.J. (1999): Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. *Geomorphology*, 31, s. 229-245.
- GILVEAR, D., BRAVARD, J.P. (1996): Geomorphology of temperate rivers. In: Petts, G.E., Amoros, C. (ed.): *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall, London, s. 68-97.
- GOLDEN, L.A., SPRINGER, G.S. (2006): Channel geometry, median grain size, and stream power in small mountain streams. *Geomorphology*, 78, s. 64-76.
- GRAF, W.L. (2001): Damage Control: Restoring the Physical Integrity of America's Rivers. *Annals of the Association of American Geographers*, 91, č. 1, Blackwell Publishing, s. 1-27.
- GURNELL, A.M. (2007): Analogies between mineral sediment and vegetative particle dynamics in fluvial systems. *Geomorphology*, 89, s. 9-22.
- HARNISCHMACHER, S. (2007): Thresholds in small rivers? Hypotheses developed from fluvial morphological research in western Germany. *Geomorphology*, 92, s. 119-133.
- HARRELSON, C.C., RAWLINS, C.L., POTYONDY, J.P. (1994): Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique. General Technical Report RM-245. USDA Forest Service, 61 s.
- HAVRLANT, M., BUZEK, L. (1985): *Nauka o krajině a péče o životní prostředí*. SPN, Praha, 126 s.
- HELSEL, D.R., HIRSCH, R.M. (2002): *Statistical Methods in Water Resources*. Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Hydrologic Analysis and Interpretation. USGS, 510 s.
- HINTNAUS, I. (2008): *Změny ve vývoji krajiny v pramenné oblasti Blanice*. Bakalářská práce. KFGG, PřF UK Praha, Praha, 59 s.
- HOOKE, J.M. (1997): Styles of Channel Change. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (ed.): *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, s. 237-268.

- HOOKE, J.M. (2007): Spatial variability, mechanisms and propagation of change in an active meandering river. *Geomorphology*, 84, s. 277-296.
- HORNÍK, S. a kol. (1986): Fyzická geografie II. SPN, Praha, 320 s.
- HRADECKÝ, J. (2002): Hodnocení časových změn morfodynamiky beskydských toků za využití historických map a leteckých snímků. *Geomorphologia Slovaca*, 2, s. 31-39.
- HUGHES, M.L., MCDOWELL, P.F., MARCUS, W.A. (2006): Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74, s. 1-16.
- HUJSLOVÁ, J. (2007): Dynamika revitalizovaného koryta Sviňovického potoka. Bakalářská práce. KFGG, PřF UK Praha, Praha, 45 s.
- HUPP, C.R. (1984): Dendrogeomorphic evidence of debris flow frequency and magnitude at Mount Shasta, California. *Environmental Geology and Water Sciences*, 6, č. 2, s. 121-128.
- HUPP, C.R., BORNETTE, G. (2003): Vegetation as a Tool in the Interpretation of Fluvial Geomorphic Processes and Landforms in Humid Temperate Areas. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (ed.): *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley, Hoboken, s. 269-288.
- CHEW, L.C., ASHMORE, P.E. (2001): Channel adjustment and a test of rational regime theory in a proglacial braided stream. *Geomorphology*, 37, s. 43-63.
- CHYTRÝ, M. a kol. (2001): Katalog biotopů ČR. AOPK ČR, Praha, 307 s.
- JEFFRIES, R., DARBY, S.E., SEAR, D.A. (2003): The influence of vegetation and organic debris on flood-plain sediment dynamics: case study of low-order stream in the New Forest, England. *Geomorphology*, 51, s. 61-80.
- JENSEN, K., TREPEL, M., MERRITT, D., ROSENTHAL, G. (2006): Restoration ecology of river valleys. *Basic and Applied Ecology*, 7, s. 383-387.
- JUST, T. a kol. (2003): Revitalizace vodního prostředí. AOPK ČR, Praha, 144 s.
- KASZOWSKI, L., KRZEMIENI, K. (1999): Classification systems of mountain river channels. In: Krzemień, K. (ed.): *River channels – pattern, structure and dynamics*. Prace geograficzne, zeszyt 104, Instytut Geografii UJ, Kraków, s. 27-40.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. *Geografie – Sborník ČGS*, 111, 3, s. 292-304.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., ŠOBR, M., POTŮČKOVÁ, M. (2006): Sledování dynamiky revitalizovaného koryta Sviňovického potoka. In: Langhammer, J. a kol. (ed.): *Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevů extrémních povodní*. KFGG, PřF UK Praha, Praha, s. 166-174 [cit. 16. 2. 2007]. Dostupné z: <http://floodserv.natur.cuni.cz/floodweb/dokumenty.php>.



- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., ŠOBR, M., POTŮČKOVÁ, M., HUJSLOVÁ, J. (2008): Fluvial dynamics and selected methods of ecohydrological monitoring of restored Sviňovický brook channel. *AUC Geographica*, 1-2, s. 125-144.
- KNIGHTON, D. (1984): *Fluvial Forms and Processes*. Arnold, London, 218 s.
- KODYM, O. ml. a kol. (1961): *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXVI Strakonice*. ÚÚG, Praha, 150 s.
- KODYM, O. ml. (1962): *Geologická mapa ČSSR. Mapa předčtvrtohorních útvarů 1:200 000 M-33-XXVI Strakonice*. ÚÚG, Praha.
- KOHOUTEK, F. (1987): *Československé řeky: kilometráž*. Olympia, Praha, 343 s.
- KOHOUTEK, P., TUČEK, J. (2002): *Projekt stavby Revitalizace toku Zbytiny*. Projekta Tábor. – nepublikováno.
- KOLBERG, F.J., HOWARD, A.D. (1995): Active channel geometry and discharge relations of U.S. Piedmont and Midwestern Streams: The variable exponent model revisited. *Water Resources Research*, 31, 9, s. 2353-2365.
- KONDOLF, G.M., MONTGOMERY, D.R., PIÉGAY, H., SCHMITT, L. (2003a): Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (ed.): *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley, Hoboken, s. 171-204.
- KONDOLF, G.M., PIÉGAY, H. (2003): *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley, Hoboken, 688 s.
- KONDOLF, G.M., PIÉGAY, H., LANDON, N. (2002): Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrast between two catchments. *Geomorphology*, 45, s. 35-51.
- KONDOLF, G.M., PIÉGAY, H., SEAR, D. (2003b): Integrating Geomorphological Tools in Ecological and Management Studies. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (ed.): *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley, Hoboken, s. 633-660.
- KORPAK, J. (2007): The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains). *Geomorphology*, 92, 166-181.
- KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. (2003): Geomorphological consequences of the 2002 Flood in the Otava River Drainage Basin. *AUC – Geographica*, XXXVIII, č. 2, s. 125-138.
- LANE, E.W. (1957): *A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material*. US Army Engineering Division, Missouri River, Corps Engineers, Sediment Series 9 [cit. sec. Thorne 1997].

- LANGHAMMER, J., MATOUŠKOVÁ, M. (2006): Mapping and analysis of river network modification as a factor of flood risk in the Blanice River Basin. *Geografie – Sborník ČGS*, 111, č. 3, s. 274-291.
- LANGHAMMER, J., SITAŘ, J. (2008): Modelling the impact of anthropogenic modifications to river channels on the course of extreme floods. Case study: August 2002 flood, Blanice River basin, Czechia. *Geografie – Sborník ČGS*, 113, 3, s. 237-252.
- LEHOTSKÝ, M. (2006): Morfológia rieky – princípy a nástroje výskumu jej prispôsobovania. In: Smolová, I. (ed.): *Geomorfologické výzkumy v roce 2006*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, s. 147-153.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. (1957): River channel patterns: Braided, meandering and straight. Prof. Paper 282-B, U.S. Geological Survey [cit. sec. Kondolf a kol. 2003a].
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G., MILLER, J.P. (1992): *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover, New York, 522 s.
- MALÝ, A. (2006): Problematika hodnocení poměrů v experimentálních a reprezentativních povodích. Bakalářská práce. KFGG, PřF UK Praha, Kladno, 75 s.
- MAPA ÚZEMÍ OBCE ZBYTINY Z ROKU 1888, mapový archiv ČÚZK Praha.
- MARSTON, R.A., GIREL, J., PAUTOU, G., PIEGAY, H., BRAVARD, J.P., ARNESON, C. (1995): Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development: Ain River, France. *Geomorphology*, 13, s. 121-131.
- MARTIŠ, M. (1988): *Člověk versus krajina*. Horizont, Praha, 264 s.
- MCDONALD, A., LANE, S.N., HAYCOCK, N.E., CHALK, E.A. (2004): Rivers of dreams: on the gulf between theoretical and practical aspects of an upland river restoration. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 29, s. 257-281.
- MÍSAŘ, Z. a kol. (1983): *Geologie ČSSR I. Český masív*. SPN, Praha, 336 s.
- NETOPIL, R. a kol. (1984): *Fyzická geografie I*. SPN, Praha, 273 s.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z. a kol. (1998): *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky: textová část*. Academia, Praha, 341 s.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z., MORAVEC, J. (1998): *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Kartografie, Praha.
- NILSSON, C., REIDY, C.A., DYNESIUS, M., REVENGA, C. (2005): Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems. *Science*, 308, s. 405-408.
- OSTERKAMP, W.R., HEDMAN, E.R. (1982): Perennial-streamflow Characteristics Related to Channel Geometry and Sediment in Missouri River Basin. US Geological Survey Professional Paper 1242, Washington [cit. sec. Reinfelds 1997].

- PALMER, MA., BERNHARDT, E.S., ALLAN, J.D., LAKE, P.S., ALEXANDER, G., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C.N., FOLLSTAD-SHAH, J., GALAT, D.L., LOSS, S.G., GOODWIN, P., HART, D.D., HASSETT, B., JENKINSON, R., KONDOLF, G.M., LAVE, R., MEYER, J.L., O'DONNELL, T.K., PAGANO, L., SUDDUTH, E. (2005): Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42, s. 208-217.
- PARKER, G. (1976): On the cause and characteristic scales of meandering and braiding in rivers. *J. Fluid Mech.*, 76 [cit. sec. Thornes 1979].
- PELC, Z. (1996): Geologická mapa ČR. List 32-12 Volary. ČGÚ, Praha.
- PICKUP, G. (1976): Alternative measures of river channel shape and their significance. *Journal of hydrology (N. Z.)*, 15, č. 1, s. 9-16.
- PIŠŮT, P. (2006): Evolution of meandering lower Morava River (West Slovakia) during the first half of 20th century. *Geomorphologia Slovaca*, 6, č. 1, s. 55-68.
- QUITT, E. (1970): Mapa klimatických oblastí ČSSR. GÚ ČSAV Brno a Kartografické nakladatelství, Praha.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. GÚ ČSAV Brno, Brno, 84 s.
- REINFELDS, I. (1997): Reconstruction of changes in bankfull width. *Applied Geography*, 17, č. 3, s. 203-213.
- REUSS, M. (2005): Ecology, Planning, and River Management in the United States: Some Historical Reflections. *Ecology and Society*, 10, č. 1.
- RICHARD, G.A., JULIEN, P.Y., BAIRD, D.C. (2005): Statistical analysis of lateral migration of the Rio Grande, New Mexico. *Geomorphology*, 71, s. 139-155.
- ROSGEN, D. (1994): A classification of natural rivers. *Catena*, 22, s. 169-199.
- ROSGEN, D. (1996): Field Survey Procedures for Characterization of River Morphology [cit. 11. 11. 2009]. Dostupné z: [http://www.wildlandhydrology.com/assets/Field\\_Survey\\_Procedures\\_for\\_Characterization\\_of\\_River\\_Morph.pdf](http://www.wildlandhydrology.com/assets/Field_Survey_Procedures_for_Characterization_of_River_Morph.pdf).
- RUSSELL, R.J. (1954): Alluvial morphology of Anatolian rivers. *Ann. Amer. Geogr.* 44 [cit. sec. Kaszowski a Krzemień 1999]
- SEDLÁK, L. (1985): Meliorace. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno, 228 s.
- SCHUMM, S.A. (1977): The Fluvial System. John Wiley and Sons, New York [cit. sec. Kondolf a kol. 2003a].

- SIMON, A., CASTRO, J. (2003): Measurement and Analysis of Alluvial Channel Form. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (ed.): Tools in fluvial geomorphology. Wiley, Hoboken, s. 291-322.
- SIMON, A., DOWNS, P.W. (1995): An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels. *Geomorphology*, 12, s. 215-232.
- SIMON, A., HUPP, C.R. (1987): Geomorphic and vegetative recovery processes along modified Tennessee streams: an interdisciplinary approach to distributed fluvial systems. *Forest Hydrology and Watershed Management*, 167, s. 251-262.
- SKALICKÁ, J. (2008): Geomorfologické změny meandrujícího koryta Tiché Orlice v historické době. Bakalářská práce. MU PřF GÚ, Brno, 59 s.
- SKOKANOVÁ, H. (2005): Změny koryta dolní Dyje v období 1830 – 2001 způsobené antropogenní činností. *Geografie – Sborník ČGS*, 110, č. 4, s. 271-285.
- SPRÁVA CHKO ČR (1997): Chráněné krajinné oblasti České republiky. Správa CHKO ČR, Praha, 55 s.
- STEJSKAL, J. (1949): Velký ilustrovaný přírodopis všech tří říší VIII. Geologie, II. a III. díl. Komenium, Praha, 798 s.
- SURIAN, N. (2002): Downstream variation in grain size along an Alpine river: analysis of controls and processes. *Geomorphology*, 43, s. 137-149.
- SVOBODA, J. a kol. (1983): Encyklopedický slovník geologických věd. 1. svazek A – M. Academia, Praha, 920 s.
- THORNE, C.R. (1997): Channel Types and Morphological Classification. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (ed.): Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, s. 176-222.
- THORNES, J.B. (1979): Fluvial Processes. In: Embleton, C., Thornes, J.B. (ed.): Process in geomorphology. Arnold, London, s. 213-271.
- TOLASZ, R., BRÁZDIL, R., BULÍŘ, O., DOBROVOLNÝ, P., DUBROVSKÝ, M., HÁJKOVÁ, L., HALÁSOVÁ, O., HOSTÝNEK, J., JANOUC, M., KOHUT, M., KRŠKA, K., KŘIVANCOVÁ, S., KVĚTOŇ, V., LEPKA, Z., LIPINA, P., MACKOVÁ, J., METELKA, L., MÍKOVÁ, T., MRKVICA, Z., MOŽNÝ, M., NEKOVÁŘ, J., NĚMEC, L., POKORNÝ, J., REITSCHLÄGER, J.D., RICHTEROVÁ, D., ROŽNOVSKÝ, J., ŘEPKA, M., SEMERÁDOVÁ, D., SOSNA, V., STRÍŽ, M., ŠERCL, P., ŠKÁCHOVÁ, H., ŠTĚPÁNEK, P., ŠTĚPÁNKOVÁ, P., TRNKA, M., VALERIÁNOVÁ, A., VALTER, J., VANÍČEK, K., VAVRUŠKA, F., VOŽENÍLEK, V., VRÁBLÍK, T., VYSOUDIL, M.,

- ZAHRADNÍČEK, J., ZUSKOVÁ, I., ŽÁK, M., ŽALUD, Z. (2007): Atlas podnebí Česka. Climate Atlas of Czechia. ČHMÚ a Univerzita Palackého, Praha a Olomouc, 256 s.
- TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. ČGS, Kutná Hora, 68 s.
- URBAN, M.A., RHOADS, B.L. (2003): Catastrophic Human-Induced Change in Stream-Channel Planform and Geometry in an Agricultural Watershed, Illinois, USA. *Annals of the Association of American Geographers*, 93, č. 4, s. 783-796.
- VANLOOY, J.A., MARTIN, C.W. (2005): Channel and Vegetation Change on the Cimarron River, Southwestern Kansas, 1953-2001. *Annals of the Association of American Geographers*, 95, č. 4, s. 727-739.
- VGHÚ (2005): DMÚ 1:25 000.
- VONDRA, F. (2006): Ekomorfologický monitoring v povodí horní Blanice. Diplomová práce. KFGG, PřF UK Praha, Praha, 102 s.
- VÚMOP (2005): BPEJ 1:5 000.
- VÚV TGM (2005a): A02 – vodní tok (jemné úseky) 1:10 000 [cit. 5. 1. 2007]. Dostupné z: <<http://www.vuv.cz>>.
- VÚV TGM (2005b): A08 – hydrologické členění – povodí III. řádu 1:10 000 [cit. 5. 1. 2007]. Dostupné z: <<http://www.vuv.cz>>.
- VYHLÁŠKA č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci, ve znění vyhlášky č. 546/2002 Sb.
- WERRITTY, A. (1997): Short-term Changes in Channel Stability. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (ed.): *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, s. 47-65.
- WESTERN, A.W., FINLAYSON, B.L., MCMAHON, T.A., O'NEILL, I.C. (1997): A method for characterising longitudinal irregularity in river channels. *Geomorphology*, 21, s. 39-51.
- WHEATON, J.M., DARBY, S.E., SEAR, D.A., MILNE, J.A. (2006): Does scientific conjecture accurately describe restoration practice? Insight from an international river restoration survey. *Area*, 38, č. 2, s. 128-142.
- WILLIAMS, G.P. (1978): Bankfull discharge of rivers. *Water Resources Research*, 14, s. 1141-1154 [cit. sec. Reinfelds 1997].
- WOLMAN, M.G., LEOPOLD, L.B. (1957): River Flood Plains: Some Observations on their Formation, U.S. Geological Survey Professional Paper 282-C, s. 85-107 [cit. 3. 3. 2010]. Dostupné z: <<http://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/>>.

XU, J. (2002): River sedimentation and channel adjustment of the lower Yellow River as influenced by low discharges and seasonal channel dry-ups. *Geomorphology*, 43, s. 151-164.

ZPÚ V PRAZE (1969): Hydropedologický průzkum. – nepublikováno.

ZVHS PRACHATICE (1971): Technická zpráva k projektu odvodnění pozemků stavba Zbytiny II. – nepublikováno.